



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO
EN URBANISMO
FACULTAD DE ARQUITECTURA**

**“LA PERCEPCIÓN REMOTA APLICADA AL ANÁLISIS Y
DETECCIÓN DE CAMBIOS DE TEXTURAS E ÍNDICE
DE CAMBIO URBANO, EMPLEANDO IMÁGENES SPOT-5
Caso: Ciudad de México 2003/2006”**

**TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRA EN URBANISMO**

P R E S E N T A

ERICKA GABRIELA GARCÍA CONTRERAS

**T U T O R:
DRA. MICHIKO AMEMIYA RAMÍREZ
FACULTAD DE ARQUITECTURA, UNAM**

**MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR
MTRO. ENRIQUE SOTO ALVA
FACULTAD DE ARQUITECTURA, UNAM
DRA. EFTYCHIA DANAI BOURNAZOU MARCOU
FACULTAD DE ARQUITECTURA, UNAM
DR. HÉCTOR QUIROZ ROTHE
FACULTAD DE ARQUITECTURA, UNAM
DRA. PAMELA ILEANA CASTRO SUÁREZ
FACULTAD DE ARQUITECTURA, UNAM**

**CIUDAD UNIVERSITARIA
CD. MX.**

Septiembre, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

Introducción.....	3,4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
Justificación.....	5
Síntesis de los capítulos.....	5,6
I Descripción del artículo de investigación para áreas urbanas empleando métodos de Percepción Remota	
1.1 Antecedentes.....	7-11
1.2 Contexto de la investigación.....	11-17
1.3 Lugar y duración.....	18
1.4 Equipo de trabajo.....	18,19
1.5 Metodología aplicada en áreas urbanas con imágenes Spot 5.....	19-23
1.6 Formas de financiamiento.....	23
II Síntesis de la investigación	
2.1 Elementos que componen una imagen digital.....	24-26
2.2. Tipos de resolución: espacial, radiométrica, espectral y temporal.....	26-28
2.3 Plataformas orbitales empleadas en percepción remota.....	29
2.4 Características de las imágenes Terra / Aster.....	30,31
2.4.1 Imágenes Terra / Aster de la Ciudad de México par estereoscópico.....	32,33
2.5 Característica de las imágenes Ikonos.....	34
2.5.1 Imágene Ikonos de la Ciudad de México.....	35
2.6 Características de las imágenes Spot 5.....	36
2.6.1 Parámetros de las imágenes Spot 5 de la Ciudad de México.....	37-39
2.7 Elementos para el análisis de una imagen digital multiespectral en áreas urbanas.....	40-43
III Resultados y Conclusiones.....	44-74
Bibliografía.....	75-77
Anexo.....	78-88

Introducción

En los últimos años, el acelerado avance de la tecnología espacial ha permitido la construcción de satélites de muy alta precisión y eficiencia capaces de adquirir y generar imágenes digitales multiespectrales, pancromáticas y de radar con una gran resolución tanto espacial como espectral.

De esta forma, las imágenes ópticas o de radar captadas alrededor del mundo por los diferentes sensores contienen una gran cantidad de información de la superficie terrestre del planeta. En nuestro caso particular, para el desarrollo de éste trabajo es de gran importancia hacer un estudio de la Ciudad de México, empleando imágenes ópticas de los siguientes sensores: Ikonos con una resolución espacial de 4m en imágenes multiespectrales (como referente de imagen de alta resolución), Spot-5 con pares estereoscópicos de 10m de resolución en imágenes multiespectrales y 5m en imágenes pancromáticas, del sensor Terra/Aster se tiene 15m de resolución espacial en sus primeras tres bandas, de las cuales se emplearon solo dos para éste trabajo, la banda 3B y 3N que forman pares estereoscópicos de la Ciudad de México.

El objetivo es procesar imágenes estereoscópicas pancromáticas y multiespectrales diferidas en el tiempo, con diferente resolución espacial, espectral y radiométrica para la detección de texturas y cambios urbanos en la Ciudad de México.

En la actualidad, la mayor parte de la población vive en grandes urbes, metrópolis y megalópolis, las cuales son de gran importancia para hacer estudios de ciudades empleando métodos de percepción remota.

La Ciudad de México es una de las zonas metropolitanas con una gran dinámica económica, poblacional y de servicios. Esta gran dinámica es una de las principales causas que ocasionan cambios en el uso de suelo urbano, así como modificaciones de las estructuras urbanas en algunas zonas de la ciudad de México.

La propuesta de esta tesis es el empleo de imágenes de los sensores; Terra / Aster, Ikonos y Spot-5, centrando la investigación en pares estereoscópicos pancromáticos y multiespectrales del año 2003 y 2006 del sensor Spot-5, mediante el análisis de cambios urbanos en la Ciudad de México, con la detección y cuantificación de las estructuras urbanas por medio del análisis de texturas como son: la *textura-relieve* resultado de la descomposición de componentes principales

con la componente principal 2 (CP²), la *textura-rugosidad* usando el operador de divergencia y un *índice de cambio urbano* que es la diferencia normalizada de las imágenes que forman el par estereoscópico.

Objetivos

Objetivo general

Emplear métodos de *textura relieve*, *textura rugosidad* e *índice de cambio urbano*, para el análisis de modificaciones de las estructuras urbanas de la ciudad de México empleando imágenes ópticas del sensor Spot-5, que forman pares estereoscópicos pancromáticos y multiespectrales diferidos en el tiempo.

Objetivos específicos

Analizar cambios urbanos de la ciudad de México por medio del procesamiento digital de imágenes multiespectrales y pares estereoscópicos del sensor Spot-5 del período comprendido del año 2003 y 2006.

1. Desarrollar una metodología para la obtención de los modelos de texturas en áreas urbanas con métodos de percepción remota.
2. Corregistrar y ortorectificar los pares estereoscópicos de las imágenes pancromáticas y multiespectrales.
3. Analizar el espacio urbano de cuatro zonas de la Ciudad de México empleando tres tipos de sensores: Terra/Aster, Ikonos y Spot-5.
4. Emplear la segunda componente principal (CP²) para obtener la *textura relieve* de la ciudad.
5. Con el operador de divergencia obtener la *textura rugosidad* de la ciudad.
6. Obtener el *índice de cambio urbano* con la diferencia normalizada de las imágenes que forman el par estereoscópico.
7. Obtener un compuesto a color RGB con el *índice de cambio urbano*, las imágenes pancromáticas de 2003 y 2006 con cambios en ocho zonas de la Ciudad de México.
8. Interpretar y analizar los resultados obtenidos con cada una de las metodologías empleadas.

Justificación

La percepción remota es una ciencia moderna que puede resultar multidisciplinaria e interdisciplinaria y es de gran ayuda e interés para urbanistas, arquitectos, planeadores urbanos y tomadores de decisiones. La percepción remota es útil para complementar propuestas de planeación urbana, para estudios urbanísticos, análisis del sitio, clasificación de uso y cobertura del suelo urbano, en el cambio de uso de suelo de rural a urbano, en la morfología urbana, en estudios de manifestaciones de impacto ambiental, en la evaluación de riesgos, en la vulnerabilidad e impacto de los desastres naturales y los provocados por el hombre en espacios urbanos, así como una segmentación y clasificación precisa de las estructuras urbanas inmersas en cualquier ciudad del mundo.

En la evolución urbana de las ciudades se produce una elevada expansión demográfica junto a las actividades económicas y a un crecimiento urbano, del cual hay que cuantificar sus cambios en espacio y tiempo.

Dentro del contexto de cambios urbanos es posible analizar e identificar las modificaciones y cambios de las estructuras urbanas empleando métodos de percepción remota como la *textura relieve*, la *textura rugosidad* y el *índice de cambio urbano*. En algunas zonas de la Ciudad de México esto puede realizarse mediante imágenes multiespectrales y pares estereoscópicos diferidos en el tiempo comprendidos en los años de 2003 y 2006.

Síntesis de los capítulos

Introducción

Se presenta la propuesta del tema de investigación desarrollado con imágenes de los sensores: Terra / Aster, Ikonos y Spot-5, empleando imágenes multiespectrales y pancromáticas para la detección de cambios de texturas y el índice de cambio urbano de la ciudad de México.

Se describe el planteamiento del problema, el objetivo general, los objetivos específicos y la justificación.

Capítulo 1 Descripción del artículo de investigación para áreas urbanas empleando métodos de Percepción Remota.

En este capítulo se abordan los antecedentes, los conceptos teóricos y las aplicaciones de la percepción remota, el contexto de la investigación, el lugar y duración de la misma, el equipo de trabajo, los fundamentos metodológicos aplicados en áreas urbanas con imágenes Spot 5 como son: la *textura rugosidad* obtenida con el operador de divergencia, la *textura relieve* procesada con la componente principal dos CP², y el índice de cambio urbano. Y por último la forma de financiamiento.

Capítulo 2 Síntesis de la investigación.

En esta sección se describen los elementos que componen una imagen digital, los tipos de resolución: espacial, radiométrica, espectral y temporal, la generación de una imagen multiespectral, las principales plataformas orbitales empleadas en percepción remota, las características de cada una de las imágenes ópticas Terra/Aster, Ikonos y Spot-5, para finalizar el capítulo se escriben los elementos para el análisis de una imagen digital multiespectral en áreas urbanas que comprende la metodología empleada de reconocimiento de patrones mediante el procesamiento digital de imágenes para áreas urbanas, obteniendo la *textura relieve* con la descomposición de componentes principales con la componente principal dos (CP²), la *textura rugosidad* por medio del operador de divergencia y por último el índice de cambio urbano mediante la diferencia normalizada de las imágenes que forman el par estereoscópico.

Capítulo 3 Resultados y Conclusiones

Se hace un análisis del espacio urbano por medio de mosaicos comparativos de cuatro zonas de la CDMX, diferenciándolas con los tres tipos de sensores, los cuales son Terra-Aster en sus bandas 3B y 3N con 15m de resolución espacial, Spot-5 con 10m en su modo multiespectral y 5m en su modo pancromática ambas con un nivel de procesamiento 1A, y con el sensor Ikonos de resolución espacial de 4m en sus bandas multiespectrales, también se muestran los resultados de la *textura relieve* y la *textura rugosidad* de la ciudad. Por último, se muestran los resultados del *índice de cambio urbano* en ocho zonas de la Ciudad de México.

Se incluye la bibliografía y el anexo que es el artículo publicado en la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.

I Descripción del artículo de investigación para áreas urbanas empleando métodos de Percepción Remota

1.1 Antecedentes

La Percepción Remota como ciencia

La Percepción Remota o “Remote Sensing”, por su término en inglés, es definida como la ciencia y el arte de obtener información relacionada con un objeto, un área o un fenómeno a través del análisis de datos adquiridos por medio de un dispositivo que no está en contacto físico con el objeto, área o fenómeno bajo investigación (Lillesand y Kiefer, 1987).

En otro concepto se define a la Percepción Remota como el arte, la ciencia y la tecnología de obtener información confiable sobre objetos físicos y del medio ambiente, a través del proceso de recodificación, medición e interpretación de imágenes y representación digital de patrones de energía derivados de satélites y sensores aéreos. La Percepción Remota puede proporcionar información geoespacial completa para mapear, cartografiar y estudiar el espacio geográfico en diferentes escalas espaciales (Wang, 2012).

De acuerdo con Lira, la Percepción Remota es una ciencia de observación a distancia que utiliza la radiación electromagnética para obtener información acerca del comportamiento de una escena (Lira, 2007).

La radiación electromagnética, generada por una fuente de radiación, interacciona con los elementos del medio ambiente geofísico enmarcados en una escena.

Esto puede describirse a través del siguiente ejemplo: las imágenes que son captadas con el sentido de la vista, cuando una cantidad de luz es reflejada por una página de un libro y nuestros ojos la leen. Dicha luz viaja una distancia hasta que es capturada por un sensor (nuestros ojos). Éstos envían una señal a un procesador, que en este caso sería el cerebro, que graba la información y la interpreta.

Cabe mencionar que el subsistema de formación de imágenes del ser humano es bastante limitado en cuanto al tipo de radiación. Su sensibilidad se restringe a una pequeña porción del espectro electromagnético concretamente a la región del visible; es incapaz de percibir imágenes de cualquier otro tipo de radiación (Lira, 1995).

La percepción remota en estudios urbanos

En la literatura científica se han reportado una serie de métodos para estudiar a las ciudades empleando percepción remota. A continuación, se hace una revisión de cada uno de los trabajos que han sido reportados en la literatura científica y que han empleado métodos de percepción remota para hacer estudios de morfología, textura, textura-relieve, mapeo de áreas urbanas, detección de cambios en zonas urbanas con diferentes tipos de sensores ópticos y de radar con muy alta resolución espacial en las diferentes ciudades del mundo.

Uno de los primeros libros donde se trata el tema de percepción remota en el paisaje urbano fue publicado por Jensen (2000). Jensen (2000) toma en cuenta los diferentes materiales que componen al paisaje urbano como son: el asfalto, el hormigón, el metal, el plástico, las tejas, el vidrio, el agua, la hierba, los arbustos, los árboles y el suelo. También menciona que son importantes las características de resolución temporal, espectral y espacial que son atributos urbanos (Jensen, 2000) y que deben ser considerados para hacer trabajos de percepción remota en zonas urbanas y suburbanas.

En un artículo hecho por Cuartero y Quiros (2005), analiza la generación de modelos digitales de elevación, con imágenes de sensores con capacidad estereoscópica, en función del tipo de geometría estereoscópica de cada sensor y tipos de estereoscopia de estos satélites.

En otra investigación propuesta por Lira y Rodriguez (2006), se utiliza el operador de divergencia para medir el contenido de textura en una imagen multiespectral empleando operadores de texturas.

Taubenböck et al. (2008) hace un análisis de la estructura urbana de la mega ciudad de México, como la tercera aglomeración urbana más grande alrededor del mundo. Emplean imágenes de sensores ópticos Landsat y Quickbird, así como imágenes de radar del sensor TerraSAR-X, para hacer una comparación y análisis a diferente escala. Es un estudio espacio-temporal de la transformación urbana, con un análisis multiescala para cuantificar los procesos urbanos. Demostrando que las imágenes de sensores ópticos y de radar son fuentes de datos actualizados y adecuados para el análisis de cambios rápidos en grandes ciudades y megaciudades como la Ciudad de México.

Por otra parte, Lira (2009) propone la aplicación de la metodología textura-relieve a partir de las bandas 3B y 3N del sensor Terra/Aster (Lira, 2009).

Taubenböck et al. (2011) utilizaron el método de comparación espacio-temporal para cuatro ciudades mexicanas empleando percepción remota, basados en imágenes Landsat y TerraSAR-X para caracterizar cuantitativamente el patrón espacial urbano, derivado de la densidad absoluta de edificaciones, crecimiento espacial mono o policéntrico y la estructura espacial; así como detectar diferencias en estas cuatro aglomeraciones urbanas mexicanas.

Los artículos arriba mencionados han hecho aportes en el estudio de áreas urbanas empleando métodos de percepción remota, Jensen (2000) toma en cuenta los tipos de materiales para la construcción del paisaje urbano, Cuartero y Quiros (2005) analizan las imágenes de sensores con capacidad estereoscópica para la generación de modelos digitales de elevación, Lira y Rodríguez (2006) miden el contenido de textura-rugosidad utilizando el operador de divergencia, Taubenböck et al. (2008) analiza la estructura urbana de la Ciudad de México, Lira (2009) propone la metodología de textura-relieve con la componente principal dos, Taubenböck et al. (2011) utilizan el método de comparación espacio-temporal.

Aplicaciones de la Percepción Remota

Actualmente los estudios urbanos en México deberían de complementarse con la aplicación de métodos de percepción remota, ya que muchas veces se siguen utilizando las fotografías aéreas, las cuales han quedado obsoletas para trabajos urbanísticos.

Junto a el avance de la tecnología espacial, la percepción remota es una ciencia esencial para el estudio de la superficie terrestre. Dentro de su campo de acción podemos mencionar algunos ejemplos: en la agricultura para la detección de zonas agrícolas y sus cambios, en geología para la identificación de geoformas y rasgos estructurales geomorfológicos, en la detección de zonas arqueológicas por medio de imágenes de Radar, para la actualización cartográfica de las áreas urbanas y rurales, en la prevención y evaluación de desastres; por ejemplo inundaciones, y para nuestra investigación el análisis urbano-regional empleando métodos de percepción remota, centrandó la investigación en la detección de las estructuras

urbanas mediante el análisis de texturas, *textura-relieve* y *textura-rugosidad* y el *índice de cambio urbano*.

A continuación, se muestra un diagrama con las diferentes aplicaciones de la percepción remota en la Figura 1.1



Figura 1.1 Aplicaciones de la Percepción Remota.

Fuente: elaboración propia.

La Percepción Remota es de gran importancia como ciencia multidisciplinaria e interdisciplinaria de gran potencial porque su interacción con otras ciencias es posible utilizarla en muchas aplicaciones como las que se enlistan a continuación: Ciencias de la Tierra, Meteorología, Cartografía Urbana y Rural, Ciencias Marinas, Geología, Ecología, Urbanismo, Arqueología, entre otras.

Para ejemplificar la importancia de la percepción remota, hay que destacar que esta ciencia nos permite captar información de un objeto observado a distancia, tomando las características físicas y sociales de la superficie terrestre en espacio y tiempo siendo plasmados en una escena. En nuestro caso, el análisis urbano regional de la ciudad de México, serían los objetos urbano arquitectónicos que se encuentran en la escena de dicha área de estudio.

Los estudios urbanos dentro del análisis de sitio que se hacen para un proyecto urbano, deben ser multidisciplinario e interdisciplinario.

Las bases para el desarrollo de esta tesis, son básicamente el procesamiento y el análisis de pares estereoscópicos diferidos en el tiempo.

1.2 Contexto de la investigación

El contexto en el que se realizó el presente trabajo es la elaboración de un artículo de investigación en áreas urbanas empleando métodos de percepción remota que se realizó en 2009 – 2010. Con esta primera etapa se obtuvo la textura-relieve de la Ciudad de México, con la descomposición de componentes principales, con la componente principal dos (CP²). Esta etapa fue desarrollada en el Instituto de Geofísica de la UNAM en el Laboratorio de Percepción Remota bajo la dirección del Dr. Jorge Lira Chávez y la autora de este trabajo.

Los resultados fueron presentados en el *6to. Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual. Del 5 al 7 Octubre del 2010, en Mexicali, Baja California, México.*

Este congreso fue organizado por la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma de Baja California con la colaboración del Centro de Política de Suelo y Valoraciones de la Universidad Politécnica de Cataluña, promotor principal de este congreso, que se celebró

por primera vez en 2004 y que se ha realizado anualmente con alternancia entre Europa y América en los siguientes lugares: Barcelona, Concepción Chile, Bilbao, Guadalajara México, Barcelona, Mexicali B.C. México, Lisboa Portugal, Río de Janeiro Brasil, Roma Italia, Monterrey México, Cracovia Polonia, Mendoza Argentina.

Las aportaciones realizadas de la investigación fueron plasmadas en el Libro de Resúmenes de dicho congreso en la mesa temática 3 “Las Tecnologías de la Información y Comunicación en la Arquitectura y el Urbanismo, Representación, visualización y modelado de la realidad, páginas 99-100, con número de ISBN 978-607-7753-74-2. Ver Figura 1.2

ÍNDICE

Mesa temática 3 Las TIC en la arquitectura y el urbanismo. Representación y visualización de la realidad		Autor (es)
03	Realidad aumentada para el diseño urbano. Un estudio de caso en el Proyecto del Centro Cultural Universitario en Guadalajara, México.	Alberto Peredo Pozos Ernest Redondo Domínguez
03	Modelo de conectividad de Guadalajara, su desarrollo hacia una ciudad digital.	Heriberto Cruz Solís Guadalupe María Becerra Sánchez
03	El 3D del Campus II de la Universidad Feevale.	Reginaldo M. da Silva Vagner Einsfeld Gabriel Soares S. Beretta Lenz Carolina Stelter
03	Punto de realidad aumentada: Proyecto PATRAC Subproyecto 3.	Alejandro Marambio Castillo Juan Corso Sarmiento Jennifer Lucena Salas Josep Roca Cladera
03	El uso de nuevas TICs como herramientas de apoyo al diseño sustentable como estrategia ante el cambio climático.	Misael Josué Marín Sánchez Jorge Alberto Cid Cruz Ricardo Victoria Uribe
03	The incorporation of accessibility in land use transition potential for cellular automata models.	Nuno Norte Pinto Antonio Pais Antune Josep Roca Cladera
03	Prototipo SIG para la gestión patrimonial del suelo.	Pau Queraltó i Ros Pilar Garcia Almirall Francesc Valls Dalmau Rolando Biere Arenas
03	El SIG en la construcción del diagnóstico urbano-territorial del programa rector del desarrollo urbano en Jalisco.	Jesús Rodríguez Rodríguez
03	Grandeza simbólica de la Estatua de la Libertad en la película <i>Ghostbusters II</i> .	Oscar Arturo Rojas Hernández Daniel González Romero
03	Adecuación y reprogramación del software <i>Urban Growth Simulator</i> para su utilización en los procesos de planeación de la ciudad de Ensenada, B.C., México.	Javier Sandoval Félix J. Morillán K. Camorlinga
03	La percepción remota aplicada al análisis urbano-regional de la ciudad de México empleando imágenes ópticas terra/aster y spot5	Ericka García Contreras Jorge Lira Chávez
03	Herramienta de cálculo de rutas óptimas según parámetros de accesibilidad física en itinerarios urbanos.	Pau Queraltó i Ros Francesc Valls Dalmau Rolando Biere Arenas

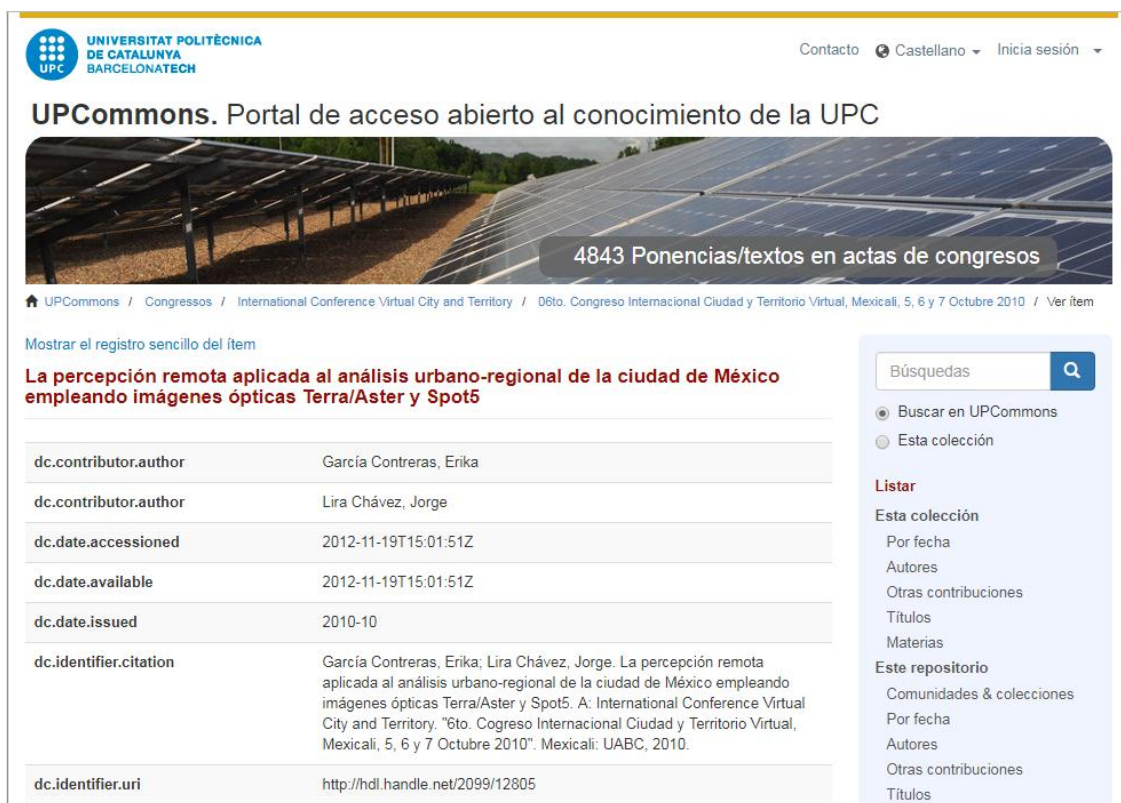
Figura 1.2: Libro de Resúmenes García and Lira. ISBN 978-607-7753-74-2

Y publicado como artículo de investigación. Ver Figura 1.3

García, E., Lira, J. (2010). La Percepción Remota aplicada al análisis urbano-regional de la Ciudad de México empleando imágenes ópticas Terra/Aster y Spot-5.

En Revistes i congressos UPC Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona Tech. International Conference Virtual City and Territory. *6to. Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual. Del 5 – 7 Octubre del 2010, Mexicali, Baja California, México.*

<http://upcommons.upc.edu/revistes/handle/2099/12805>



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH

Contacto Castellano Inicia sesión

UPCommons. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC

4843 Ponencias/textos en actas de congresos

UPCommons / Congressos / International Conference Virtual City and Territory / 06to. Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, Mexicali, 5, 6 y 7 Octubre 2010 / Ver ítem

Mostrar el registro sencillo del ítem

La percepción remota aplicada al análisis urbano-regional de la ciudad de México empleando imágenes ópticas Terra/Aster y Spots

dc.contributor.author	García Contreras, Erika
dc.contributor.author	Lira Chávez, Jorge
dc.date.accessioned	2012-11-19T15:01:51Z
dc.date.available	2012-11-19T15:01:51Z
dc.date.issued	2010-10
dc.identifier.citation	García Contreras, Erika; Lira Chávez, Jorge. La percepción remota aplicada al análisis urbano-regional de la ciudad de México empleando imágenes ópticas Terra/Aster y Spot5. A: International Conference Virtual City and Territory, "6to. Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, Mexicali, 5, 6 y 7 Octubre 2010". Mexicali: UABC, 2010.
dc.identifier.uri	http://hdl.handle.net/2099/12805

Búsquedas

Buscar en UPCommons
Esta colección

Listar

Esta colección

Por fecha
Autores
Otras contribuciones
Títulos
Materias

Este repositorio

Comunidades & colecciones
Por fecha
Autores
Otras contribuciones
Títulos

dc.format.extent	9 p.
dc.language.iso	spa
dc.publisher	Centre de Política de Sòl i Valoracions
dc.publisher	Universidad Autónoma de Baja California
dc.relation.ispartof	International Conference Virtual City and Territory (6è: 2010: Mexicali)
dc.rights	Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Spain
dc.rights.uri	http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/
dc.subject	Àrees temàtiques de la UPC::Urbanisme::Planejament urbà
dc.subject	Àrees temàtiques de la UPC::Arquitectura::Sistemes de representació arquitectònica
dc.subject.lcsh	Cities and towns -- Mexico -- Mexico City
dc.subject.lcsh	Remote-sensing images -- Mexico -- Mexico City
dc.subject.other	Terra/Aster optical images and Spot-5
dc.subject.other	Detection of urban structures
dc.subject.other	Digital Elevation Model
dc.subject.other	Urban segmentation
dc.subject.other	Imágenes ópticas Terra/Aster y Spot-5
dc.subject.other	Detección de las estructuras urbanas
dc.subject.other	Modelo Digital de Elevaciones
dc.subject.other	Segmentación urbano-regional

dc.title	La percepción remota aplicada al análisis urbano-regional de la ciudad de México empleando imágenes ópticas Terra/Aster y Spot5
dc.type	Conference report
dc.subject.lemac	Desenvolupament urbà -- Mèxic -- Mèxic
dc.subject.lemac	Imatges satel·litàries -- Mèxic -- Mèxic
dc.description.peerreviewed	Peer Reviewed
dc.rights.access	Open Access
upcommons.citation.author	García Contreras, Erika; Lira Chávez, Jorge
upcommons.citation.contributor	International Conference Virtual City and Territory
upcommons.citation.pubplace	Mexicali
upcommons.citation.published	true
upcommons.citation.publicationName	6to. Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, Mexicali, 5, 6 y 7 Octubre 2010

Ficheros en el ítem



Nombre: 03_Garcia_Lira.pdf
Tamaño: 2,218Mb
Formato: PDF
Descripción: Mesa 3

[Ver/Abrir](#)

Este ítem aparece en la(s) siguiente(s) colección(ones)

- [06to. Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, Mexicali, 5, 6 y 7 Octubre 2010 \[81\]](#)

Figura 1.3: Artículo. García, E., Lira, J. (2010). La Percepción Remota aplicada al análisis urbano-regional de la Ciudad de México empleando imágenes ópticas Terra/Aster y Spot-5.

Fuente: Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/12805> el 3 de febrero del 2019.

Ver artículo completo en anexo.

En una segunda etapa de 2011-2015 se profundizó más en el reconocimiento de patrones de la ciudad y se presentaron las metodologías de *textura rugosidad* que se obtiene con el operador de divergencia y el *índice de cambio urbano* que es una diferencia normalizada de las imágenes que forman el par estereoscópico de la Ciudad de México.

Las dos etapas de las metodologías fueron presentadas en el *Latin America Geospatial Forum* del 2014 y 2015, ver Figura 1.4

García, E., Lira, J. (2014). Análisis del espacio urbano-regional de la Ciudad de México empleando métodos de percepción remota. *Trabajo presentado en: Latin America Geospatial Forum. Del 22 al 25 de septiembre de 2014, México, Hilton, D.F., México.*

García, E., Lira, J. (2015). Detección de estructuras urbanas de la Ciudad de México por medio de reconocimiento de patrones: texturas. *Trabajo presentado en: Latin America Geospatial Forum. Del 10 al 12 de noviembre de 2015, México, Sheraton María Isabel, CDMX, México.*



Figura 1.4: Resultados de estructuras urbanas de la Ciudad de México por medio de reconocimiento de patrones: texturas, empleando el operador de divergencia. *México, Hilton, D.F., 2014, México.* Fuente: Elaboración propia.

1.3 Lugar y duración

El presente trabajo es producto de un artículo de investigación realizado en las instalaciones del Instituto de Geofísica de la UNAM, en el espacio de trabajo del Laboratorio de Percepción Remota, comprendiendo un primer período del 2009 al 2010 y un segundo período del 2011 al 2015.

La autora agradece al Instituto de Geofísica y al Laboratorio de Percepción Remota por sus instalaciones brindadas, en mi feliz estancia para el procesamiento digital de imágenes.

1.4 Equipo de trabajo

Los colaboradores en el artículo de investigación fueron el Dr. Jorge Lira Chávez y la autora de este trabajo.

Agradezco infinitamente al Dr. Jorge Lira Chávez, por haber aceptado dirigir este trabajo, por compartir sus conocimientos que son muy gratificantes enriquecedores para mi formación y enseñarme lo que verdaderamente es la Percepción Remota, gracias por todo su gran apoyo y comprensión brindados siempre.

El material que se utilizó en el presente trabajo, fueron imágenes de los sensores Terra/Aster, Ikonos y Spot-5, las primeras dos son del archivo histórico del Laboratorio de Percepción Remota (LabPr) del Instituto de Geofísica (IGF) de la UNAM. Y las imágenes Spot-5, fueron obtenidas mediante un convenio del IGF con la Secretaría de Marina Armada de México (SEMAR) por medio de la Estación de Recepción México Nueva Generación de la Constelación Spot (ERMEX NG), proporcionadas para esta investigación urbana de carácter académico.

El software empleado para el tratamiento digital de imágenes es:

- 1) ENVI 4.7 (*Environment for Visualization of Image*).
- 2) Paint Shop Pro 9.0, tratamiento de imágenes.

3) SANDI (*Sistema de Análisis Digital de Imágenes*) utilizando los módulos del operador de divergencia y descomposición de componentes principales, este software fue desarrollado en el Laboratorio de Percepción Remota del Instituto de Geofísica de la UNAM.

4) Mathematica 9.0 es empleado para obtener el índice de cambio urbano.

1.5 Metodología aplicada en áreas urbanas con imágenes Spot 5

Para poder comprender la metodología aplicada en áreas urbanas con imágenes Spot 5 con los modelos de texturas se explicará el reconocimiento de patrones en una imagen digital.

Reconocimiento de Patrones

En el tratamiento digital de imágenes cuando se va analizar una imagen digital para cuantificar sus características morfológicas y espectrales, es necesario saber del reconocimiento de patrones, el cual es definido por Lira (2010:22) como “la búsqueda de estructuras (clases) en la imagen, donde ésta se encuentra formada por todos los datos (pixels) generados por el sistema sensor”. Para el caso de una ciudad, se puede definir como:

Reconocimiento de Patrones en una ciudad. {

- Escena:* la imagen, contiene pixeles.
- Modelo matemático:* patrón de búsqueda de características morfológicas y espectrales de una ciudad.
- Estructuras:* elevación, aspereza o rugosidad del terreno, topografía del lugar y bordes.

Para este trabajo de investigación, el reconocimiento de patrones es muy importante, debido a que en una ciudad hay diferentes estructuras urbanas, de las cuales podemos extraer información de sus componentes, como son: características morfológicas y espectrales de una ciudad, la altura de las edificaciones, topografía del lugar, la traza de las calles, cambios en áreas verdes, detección de cambios en áreas urbanas ya sean estos cambios naturales o antropogénicos.

De lo anterior, una de las características morfológicas básicas en una ciudad es la textura formada por el tramado de los edificios y las calles. A continuación, introducimos una definición y descripción de la textura.

Textura

La textura es uno de los elementos del análisis de imágenes en el rubro de reconocimiento de patrones, como parte de los descriptores morfológicos los cuales son: área, perímetro, compacidad, rugosidad del perímetro, excentricidad, forma y textura.

Los modelos de textura reportados en la literatura pueden ser clasificados en tres grandes categorías (Reed and du Buf 1993, Lira and Frulla 1998): basado en estructura, basado en características y basado en modelo. En este trabajo se adopta la característica basada en modelo.

Para nuestro caso de estudio, al aplicar el método de *textura-relieve* se resaltan los rasgos como elevación, aspereza o rugosidad del terreno, topografía del lugar y bordes, todos estos elementos presentes en una ciudad.

Primero, definiremos la textura dentro del análisis digital de una imagen en percepción remota, adaptado de Lira (2010:17). Textura es la manifestación espacial organizada de un arreglo local de tonos (píxeles) de la imagen. La textura es local, puede cambiar de un lugar a otro de la imagen; se manifiesta diferente de banda a banda de la imagen multiespectral. La textura depende de la escala a la que se observe la escena y es posible que varias subtexturas compongan una de otra dimensión.

Metodología

Para la realización de este trabajo de investigación se desarrollaron tres metodologías de procesamiento digital de imágenes para áreas urbanas y son las siguientes:

1) Obtener la *textura rugosidad* de la Ciudad de México por medio del Operador de Divergencia (Arfken and Weber, 1995) para medir el contenido de textura en una imagen multiespectral (Lira and Rodríguez, 2006).

La textura rugosidad o rugosidad en la textura es la heterogeneidad de los valores de los píxeles en una localidad de la imagen. La heterogeneidad es baja si la superficie es suave. La heterogeneidad es alta si la superficie es accidentada.

La textura rugosidad se obtiene con la aplicación del operador de divergencia a la imagen multispectral, ver Figura 1.5

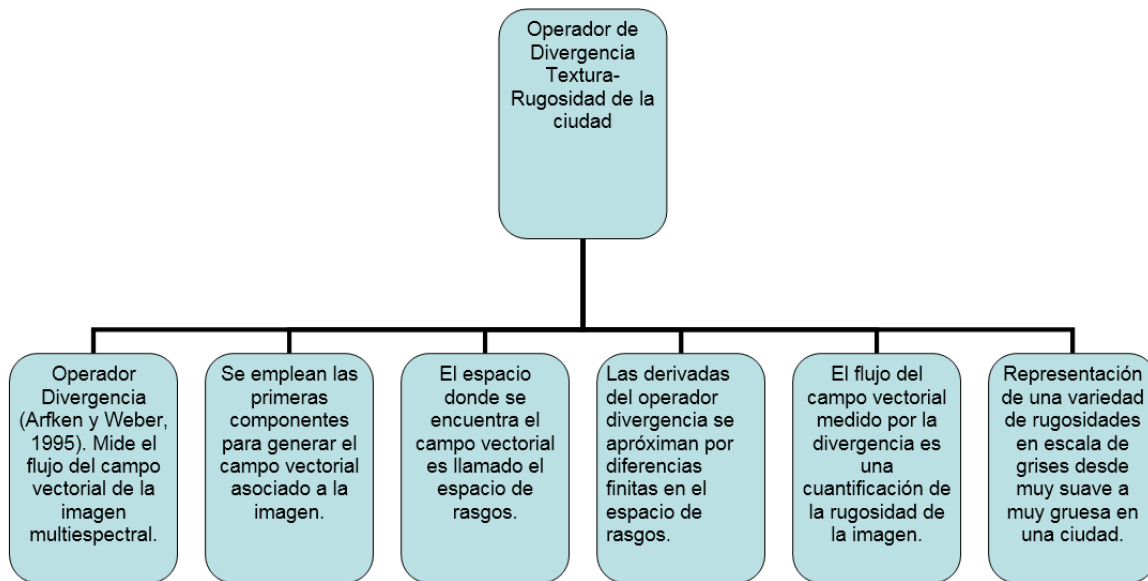


Figura 1.5: Metodología de la textura rugosidad de una ciudad con el *Operador de Divergencia*.

Fuente: Elaboración propia.

2) La *textura-relieve* se obtuvo con la descomposición de componentes principales, con la componente principal dos (CP²) que porta información de la *textura-relieve* de la escena (Lira, 2009; Cuartero et al. 2005) que nos representa las diferentes morfologías urbanas de una ciudad así como la detección de cambios y la caracterización de áreas urbanas por su morfología.

La *textura-relieve* o relieve de la textura se manifiesta como los cambios de altura de las estructuras urbanas. Esta textura es obtenida por medio de la descomposición de componentes principales; que es una transformación al conjunto de datos que se aplica simultáneamente a todas las bandas que componen la imagen y como resultado se obtiene entonces una imagen multispectral Lira (2010:185).

Es también conocida esta transformación como Karhunen-Loeve (KL), Hotelling o transformación de eigenvector.

A continuación, se describe en que consiste la descomposición en componentes principales, ver Figura 1.6

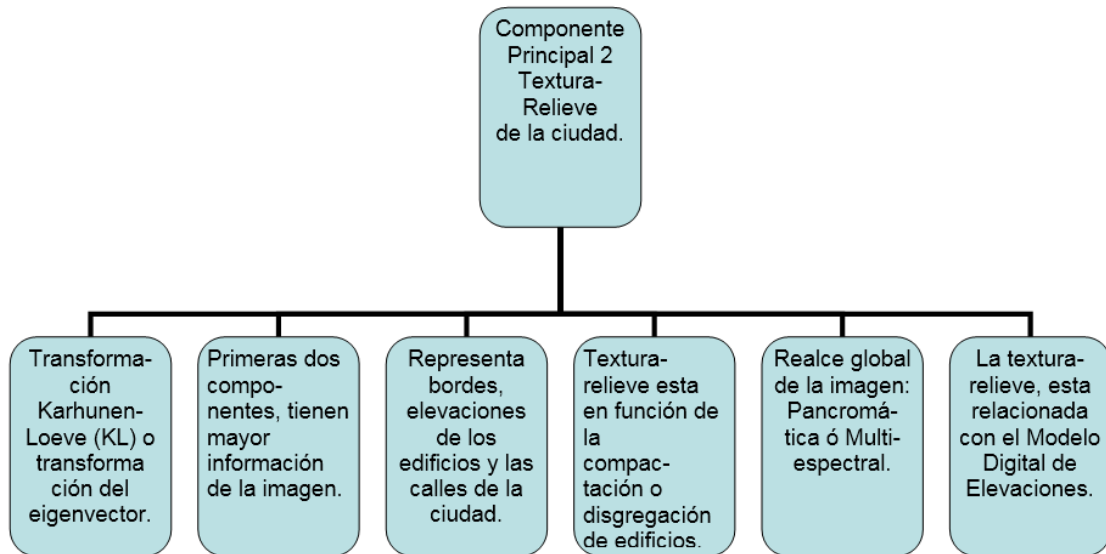


Figura 1.6: Metodología de la *textura-relieve* de la ciudad con la componente principal 2, CP².

Fuente: Elaboración propia.

3) El Índice de Cambio Urbano $Urban_Change = (B2 - B1) / (B1 + B2)$ es una diferencia normalizada de las imágenes que forman el par estereoscópico DF-03.bmp y DF-06.bmp. Para nuestro caso de estudio la Ciudad de México, es importante resaltar que la detección de cambios en áreas urbanas debe hacerse con pares estereoscópicos de la misma zona y diferidos en el tiempo. El área modificada de la Ciudad de México o área urbana se utilizaron las imágenes pancromáticas del año 2003 y 2006, obteniendo un RGB llamado *Índice de Cambio Urbano*.

En la presente tesis se presentan ocho zonas de estudio con el *Índice de Cambio Urbano*, donde los cambios pueden ser de nuevas vialidades, comercios / servicios, habitacionales, inmuebles en el centro histórico, de preservación ecológica e industriales.

En el diagrama de la Figura 1.7 se muestran las dos metodologías de los modelos de *texturas* en áreas urbanas y la metodología del *Índice de Cambio Urbano* Urban Change.

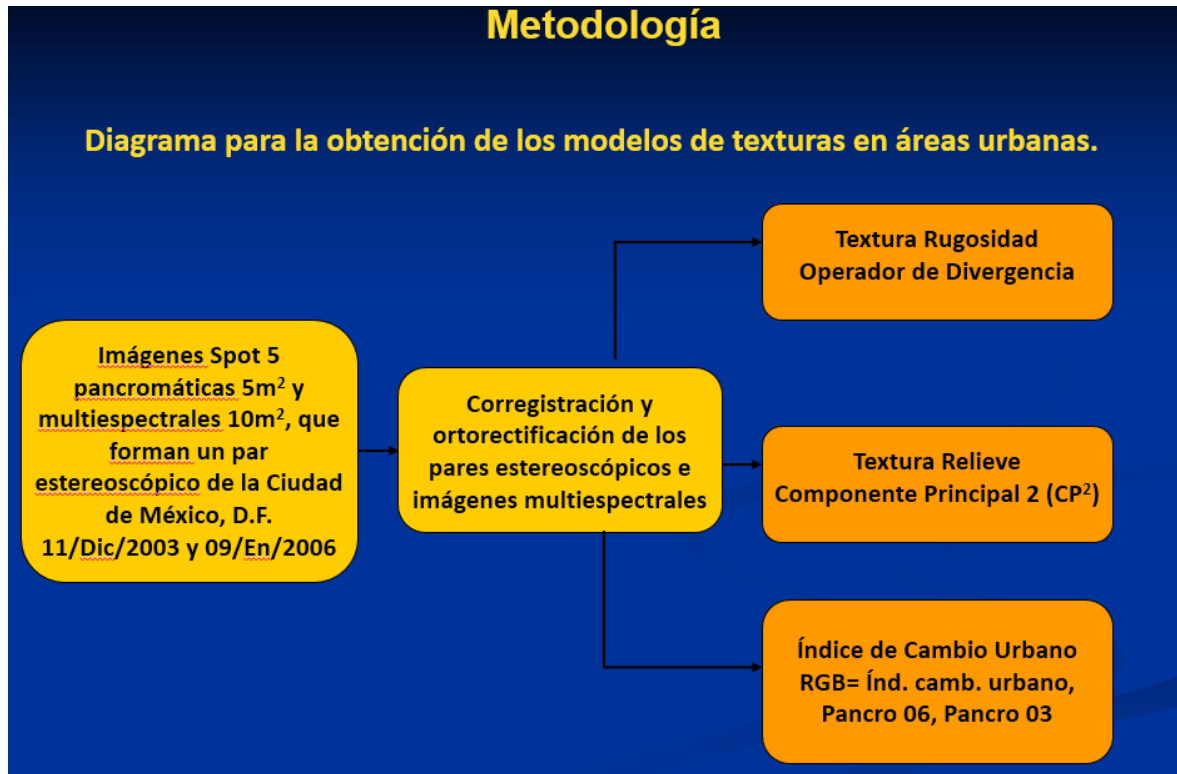


Figura 1.7: Diagrama con las metodologías de los modelos de texturas en áreas urbanas.

Fuente: Elaboración propia.

1.6 Forma de financiamiento

Las imágenes utilizadas en esta investigación fueron adquiridas a través de un convenio firmado entre el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México y la Secretaría de Marina Armada de México. Mediante la Estación de Recepción México de la constelación Spot (ERMEXS), se nos otorgó el servicio de dicha estación como usuario autorizado en calidad de Universidad o Centro de Investigación Público.

Cabe mencionar que dichas imágenes son empleadas con fines académicos, para los proyectos que se desarrollaron en el Laboratorio de Percepción Remota. Se agradece al equipo de colaboradores de la ERMEXS por las imágenes proporcionadas mediante convenio, como es el caso de este trabajo de tesis de maestría.

Las imágenes que se adquirieron son pares estereoscópicos pancromáticos y multiespectrales del sensor Spot-5 HRG (Haute Résolution Géométrique) Alta Resolución Geométrica.

II SÍNTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

En la síntesis de la presente investigación se explican los elementos que componen una imagen digital, las principales plataformas orbitales empleadas en percepción remota y las de capacidad estereoscópica, la generación de una imagen multiespectral, las características de las imágenes ópticas Terra/Aster, Ikonos y Spot-5, así como los elementos para el análisis de una imagen digital multiespectral en áreas urbanas.

2.1 Elementos que componen una imagen digital

El objetivo de estudio y principio de análisis en percepción remota es precisamente el paisaje, que es un sistema físico tridimensional, iluminado por una fuente de iluminación. A continuación, se definen cada uno de los elementos que componen una imagen digital, ver Figura 2.3.

Fuente de radiación es el objeto que proporciona la energía: La energía puede ser ondulatoria (electromagnética o acústica) o corpuscular (neutrones, electrones o positrones). En ciertos casos, la fuente de radiación no está separada del sistema físico que se desea estudiar, sino que se encuentra dentro del objeto de estudio (Lira, 2010).

Escena se entiende como una sección contenida en el paisaje, que comprende un conjunto de objetos presentes en un área definida (Lira, 2010).

CIV Campo Instantáneo de Vista, sobre la escena se define un elemento con dimensiones físicas denominado campo instantáneo de vista, cuyo tamaño depende de las dimensiones del paisaje, de la resolución del sensor remoto y de la distancia de éste al CIV (Lira, 2010).

El CIV es un área física sobre la escena, de forma cuadrada generalmente. Define la resolución espacial, es decir proporciona el grado de detalle que se puede discernir de la escena. El tamaño del CIV depende de la geometría particular paisaje/escena/sensor y de la eficiencia de este último (Lira, 2010).

Plataforma orbital son los dispositivos que capturan la energía proveniente de la interacción entre la fuente de radiación y los objetos de la escena (Lira, 2010).

Imagen una imagen puede entenderse como el conjunto de valores de la respuesta espectral promedio, proveniente de la interacción entre la fuente de radiación y los elementos físicos de una escena (Lira, 2010).

Imagen digital multispectral es la representación numérica de la variación espacial de la energía radiante proveniente de la escena, siendo también la representación lógica de una escena, y que en general tiene forma numérica (Lira, 2010).

Al conjunto de bandas espectrales cuatro o siete se les denomina “imagen multispectral”. Una imagen digital multispectral es una composición de patrones espectrales y espaciales, y junto con la interrelación que tienen éstos es lo que constituye la estructura de una imagen digital multispectral.

Por lo tanto, una imagen digital multispectral es un conjunto de bandas para una escena dada (Lira, 2010); en la que cada banda está asociada a un intervalo de energía del espectro electromagnético, y el pixel representa la respuesta espectral promedio del Campo Instantáneo de Vista (CIV) correspondiente a una escena (Marín, 2014).

Pixel es la representación numérica o lógica del campo instantáneo de vista y es la medida de la energía promedio que proviene de dicho campo. Un pixel representa un patrón espectral (Lira, 2010).

Espectro electromagnético al conjunto de ondas electromagnéticas sobre todo el intervalo posible de longitudes de onda se le conoce como espectro electromagnético. El intervalo que comprende las longitudes de onda de 0.4 a 0.7 es conocida como región óptica, como se muestra en la Figura 2.1. El ojo humano es perceptible a las longitudes de onda de la región del visible (Lira, 2010).

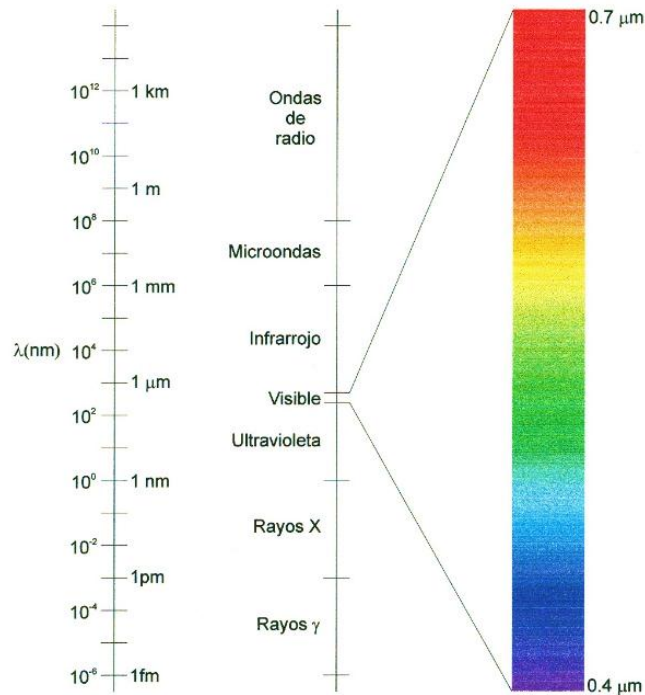


Figura 2.1: Espectro electromagnético. Fuente: elaboración propia.

2.2 Tipos de resolución: espacial, radiométrica, espectral y temporal

La resolución se entiende como la habilidad de discernir objetos individuales o características en una imagen capturada. Las imágenes multispectrales pueden ser descritas por cuatro tipos de resolución (Khorram et al., 2012) la resolución espacial, la resolución radiométrica, la resolución espectral y la resolución temporal, ver Figura 2.2.

La resolución espacial y radiométrica están relacionadas con la calidad de una imagen digital (Lira, 2010).

Resolución espacial el elemento de resolución espacial es definido por el tamaño asociado al pixel de la imagen. En nuestro caso tenemos diferentes resoluciones espaciales por sensor en Terra/Aster utilizamos las bandas espectrales 1,2,3, 3N y 3B, para Ikonos empleamos las bandas 1Blue, 2Red, 3Green, 4NIR y para Spot5 empleamos pares estereoscópicos pancromáticos y multispectrales.

La resolución espacial es una medida de la precisión del detalle de una imagen, se refiere al área capturada por un solo pixel (Khorram et al., 2012).

Resolución radiométrica también se le conoce como cuantización, es expresada en términos binarios como profundidad-bit (bit-depth) (Lira, 2010).

Resolución espectral determina la capacidad del sensor para captar la reflectancia de los elementos en las diferentes regiones y bandas del espectro electromagnético. La reflectancia de un objeto es una medida de la capacidad que tiene para reflejar la luz. Las bandas espectrales son definidas por los intervalos del espectro electromagnético, en nuestro caso las regiones utilizadas varía de cada sensor y se muestran la tabla de plataformas orbitales.

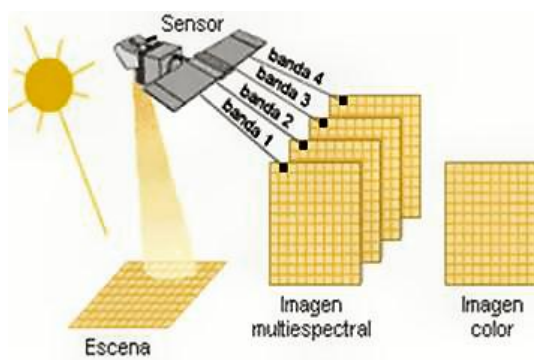
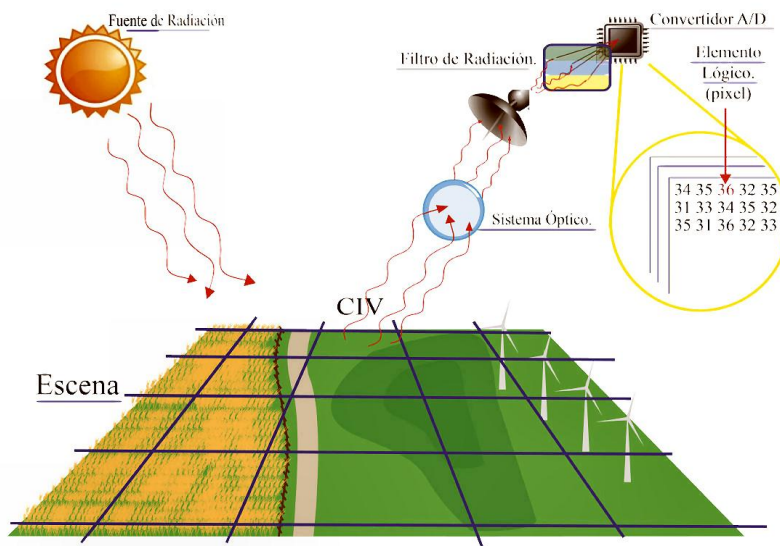
También la resolución espectral es representada por el ancho del intervalo de longitud de onda y/o el número de bandas capturados por el sensor, define la capacidad del sensor para detectar diferencias de longitud de onda entre los objetos o áreas de interés (Khorram et al., 2012).

Para este trabajo de investigación se utilizaron imágenes de la Ciudad de México pancromáticas (una sola banda espectral) y multiespectrales (múltiples bandas espectrales).

Resolución temporal es la cantidad de tiempo que le toma al sensor pasar nuevamente por la misma localización geográfica.



Generación de una imagen multispectral



Compuesto a color RGB=142, imagen Spot5 multispectral 2006 a 10 m/pixel.
Fuente: Elaboración propia y procesamiento.

Figura 2.3: Generación de una imagen multispectral, adaptado de Marín, 2014.

2.3 Plataformas orbitales empleadas en Percepción Remota para esta investigación

fueron con tres tipos de sensores: Terra/Aster, Ikonos y Spot-5, ver Tabla 2.1

Plataforma	ASTER	IKONOS	SPOT 5
Lanzamiento	Diciembre de 1999. USA	Septiembre de 1999	Mayo de 2002. Francia
Altura promedio	705 km	681 km	822 km
Inclinación		98.1°	
Tipo de la órbita		Heliosincrónica	Síncrona solar
Período de la órbita	98.1 minutos	98 minutos	101.4 minutos
Velocidad		6.8 km/s a 7.5 km/s	
Período de cobertura	16 días	3 – 5 días (3 a 1 m de resolución)	26 días
Tamaño del Campo Instantáneo de Vista	Resolución espacial Bandas 1-3: 15x15m ² Bandas 4-9: 30x30m ² Bandas 10-14: 90x90m ²	Bandas 1-4: 4 x 4 m ² (3.2 x 3.2 m ² en nadir) Banda 5 1x1 m ²	Banda 1-3: 10 x 10 m ² Banda 4: 20 x 20 m ² Banda 5: 5 x 5 m ² Pancromática 2.5 x 2.5 km ² en nadir
Tamaño de la imagen	60 x 60 km ²	11 x 13 km ² en nadir	60 x 60 km ² o 120x120 km ² 80 x 80 km ² en nadir
Niveles de cuantización	Bandas 1-3: 8bits x pixel Bandas 4-9: 8bits x pixel Bandas 10-14: 12bits x pixel	11 bits por pixel	8 bits por pixel
Tipo de estereoscopía		E. Transversal	E. Longitudinal
Bandas espectrales	Micrómetro μm 1) 0.52-0.60 2) 0.63-0.69 3N) 0.78-0.86 3B) 0.78-0.86 4) 1.600-1.700 5) 2.145-2.185 6) 2.185-2.225 7) 2.235-2.285 8) 2.295-2.365 9) 2.360-2.430 10) 8.125-8.475 11) 8.475-8.825 12) 8.925-9.275 13) 10.25-10.95 14) 10.95-11.65 Bandas 1-3: VNIR 15m ² Bandas 4-9: SWIR 30m ² Bandas 10-14: TIR 90m ²	Micrómetro μm 1) 0.455 – 0.516 Blue 2) 0.506 – 0.595 Red 3) 0.632 – 0.698 Green 4) 0.757 – 0.853 NIR Pancromática 5) 0.45 – 0.90 PAN	Micrómetro μm 1) 0.610-0.680 2) 0.500-0.590 3) 0.780-0.890 4) 1.580-1.750 Pancromática 5) 0.480-0.710 1: Red 2: Green 3: NIR 4: SWIR 5: PAN

Tabla 2.1: Plataformas orbitales Terra/Aster, Ikonos y Spot5, adaptado de Rodríguez (2014).

Imágenes Terra/Aster

2.4 Características de las imágenes Terra /Aster

El ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) es un sensor que se encuentra a bordo del satélite TERRA, y está en órbita desde fines de 1999. Este sensor tiene un ancho de barrido de 60 km y una distancia entre orbitas de 172 km, cubre una amplia región espectral con 14 bandas, desde el visible al infrarrojo térmico, con una alta resolución espacial, espectral y radiométrica. Presenta una órbita heliosincrónica a una altitud de 705 km, cruzando el Ecuador a las 10:30 hora local y con un ciclo de repetición de 16 días.



Figura 2.4: Imagen del sensor Terra/Aster. Image Copyright © NASA/Japanese Space Team)

Fuente: Recuperada de <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/aster/> el 21 febrero de 2019.

El sensor Aster posee tres subsistemas de sensores: VNIR, SWIR Y TIR. El subsistema VNIR cuenta con dos telescopios, uno con visión nadir y el otro con visión hacia atrás, mientras que los sensores SWIR Y TIR tienen un solo telescopio cada uno, ver Tabla 2.1.

Cada uno de estos subsistemas presenta características particulares tales como 3 bandas en la región espectral del visible e infrarrojo cercano (VNIR) con una resolución espacial de 15 metros, 6 bandas en la región espectral del infrarrojo de onda corta (SWIR) con una resolución espacial de 30 metros y 5 bandas en el infrarrojo térmico con una resolución espacial de 90 metros (ERSDAC, 2001), ver Tabla 2.1.

Además, presenta un telescopio con visual hacia atrás que escanea en la región espectral de la banda 3 (banda 3B) lo que nos permite realizar Modelos Digitales del Terreno (MDT) por pares estereoscópicos.

Para la presente tesis utilizamos únicamente dos bandas pancromáticas la 3B y 3N.

Subsistema	Banda No.	Rango Espectral	Resolución Espacial	Resolución Radiométrica
VNIR	1	0.52-0.60	15 m	8 bits
	2	0.63-0.69		
	3N	0.78-0.86		
	3B	0.78-0.86		
SWIR	4	1.600-1.700	30 m	8 bits
	5	2.145-2.185		
	6	2.185-2.225		
	7	2.235-2.285		
	8	2.295-2.365		
	9	2.360-2.430		
TIR	10	8.125-8.475	90 m	12 bits
	11	8.475-8.825		
	12	8.925-9.275		
	13	10.25-10.95		
	14	10.95-11.65		

Tabla 2.2: Características de los subsistemas VNIR, SWIR Y TIR para una imagen ASTER

2.4.1 Imágenes Terra/Aster de la Ciudad de México par estereoscópico

En el presente trabajo se utilizaron imágenes Terra/Aster del año 2003 empleando solamente las bandas ASTER VNIR Band 3N (0.8070) y ASTER VNIR Band 3B (0.8040) para la ciudad de México. Como se muestra a continuación, tenemos el archivo original de la imagen Aster de la Ciudad de México con los tres subsistemas y sus 14 bandas espectrales.

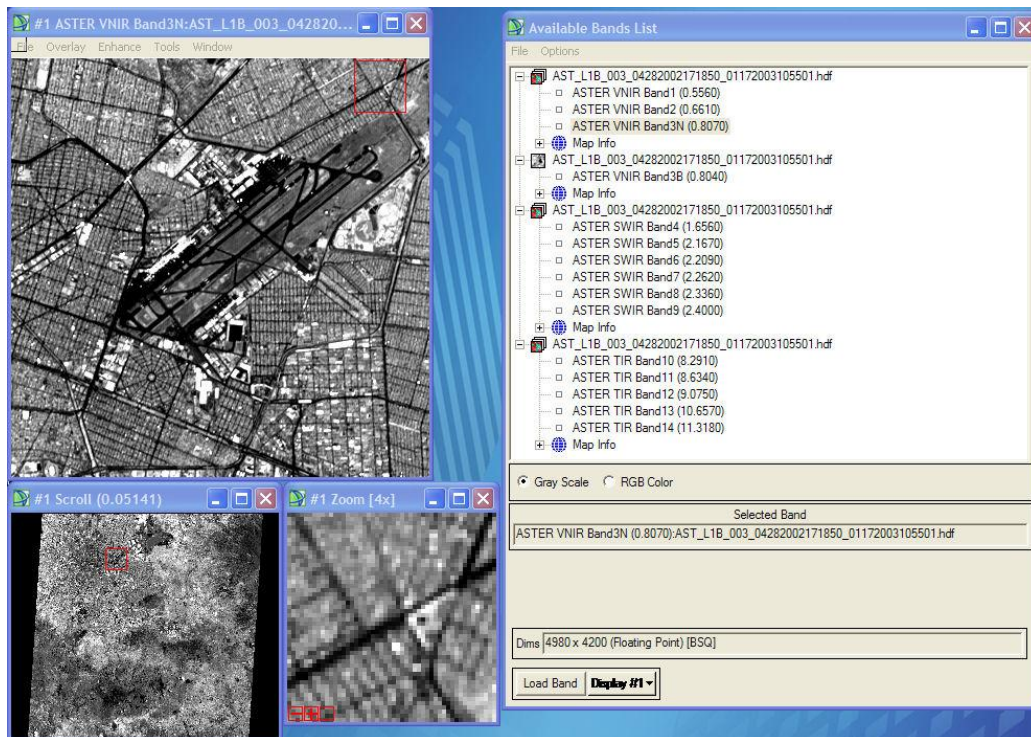


Figura 2.5: Imagen del sensor Terra/Aster de la región espectral VNIR 3N de la Ciudad de México y sus respectivas 14 bandas espectrales.

Fuente: Elaboración propia y procesamiento.



Figura 2.6: Imagen del sensor Terra/Aster de la región espectral ASTER VNIR
Band 3B (0.8040) de la Ciudad de México.
Fuente: Elaboración propia y procesamiento.



Figura 2.7: Imagen del sensor Terra/Aster de la región espectral ASTER VNIR
Band 3N (0.8070) de la Ciudad de México.
Fuente: Elaboración propia y procesamiento.

Imágenes Ikonos

2.5 Características de las imágenes Ikonos

El satélite IKONOS es el primer satélite de tipo comercial de alta resolución que posibilita la captación de imágenes con un metro de resolución espacial. El término "IKONOS" proviene del griego y significa "imagen". Recuperado de http://gspperu.com/pdf/res_ikonos.pdf el 21 de febrero de 2019.



Figura 2.8: Imagen del sensor SPOT 5 recuperada de <http://www.satnews.com/story.php?number=1485529201> el 21 de febrero de 2019

Productos IKONOS

GSP ofrece una diversidad de productos relacionados con imágenes captadas por el poderoso satélite IKONOS, incluyendo imágenes de diferentes resoluciones:

- **Pancromática 1-metro:** posibilita a los usuarios distinguir rasgos con dimensiones tan pequeñas como 1 m.
- **Color Multiespectral 4-metros:** posibilita a los usuarios distinguir rasgos con dimensiones tan pequeñas como 4 m, a partir de información tomada en tres bandas del espectro visible (azul, verde, rojo) e infrarrojo.
- **Pan-Sharpned:** este producto combina digitalmente las imágenes pancromáticas de 1 metro de resolución con las imágenes multiespectrales de 4 metros, resultando un nuevo producto que presenta la ventaja de contar con una resolución de 1 m y con la alta resolución espectral (mayor discriminación) de las bandas del visible y/o infrarrojo, lo cual la convierte en un producto muy

superior a cualquiera imagen de los satélites actualmente operacionales. Recuperado de http://gspperu.com/pdf/res_ikonos.pdf el 21 de febrero de 2019.

Imágen Ikonos de la Ciudad de México

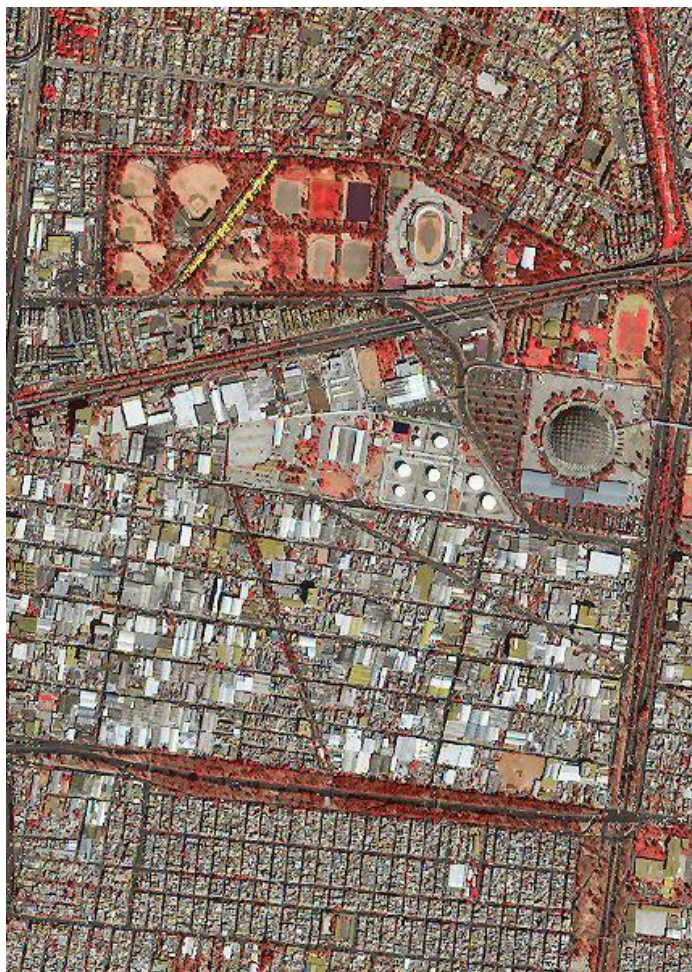


Figura 2.9: Imagen del sensor IKONOS 4m/pixel.

Compuesto a color RGB = NIR, Red, Green.

Fuente: Elaboración Propia y procesamiento.

Imágenes Spot-5

2.6 Características de las imágenes Spot-5

El sensor Spot5 obtiene su nombre por sus siglas en francés (Systeme Pour la Observation de la Terre). La constelación Spot está formada por una serie de satélites diseñados y lanzados por el Centro Nacional de Estudios Espaciales Francés, en colaboración con Bélgica y Suecia desde 1986, ver Figura 2.10.

El sensor Spot a lo largo de los años cuenta con varias generaciones que forman parte de la constelación Spot. Los ahora lanzados y operados por la empresa Astrium como son los satélites Pléiades y Spot 6.

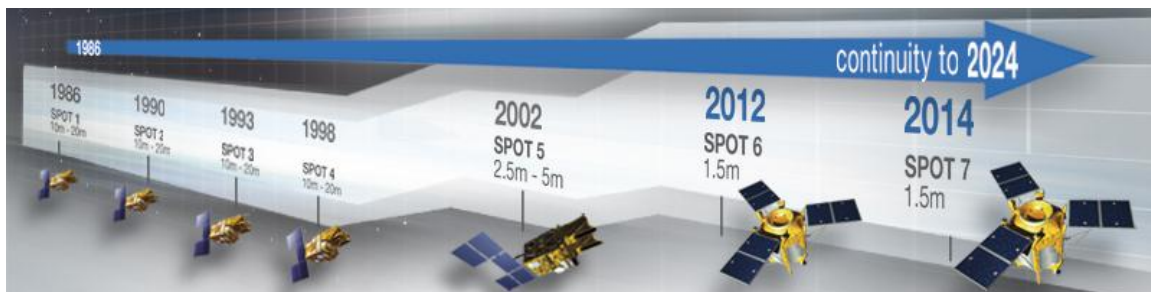


Figura 2.10: Generaciones de la constelación Spot 1-7.

Recuperado de <https://earth.esa.int/web/guest/missions/3rd-party-missions/current-missions/spot> el 21 de febrero de 2019.



Figura 2.11: Image Copyright © AIRBUS Defence & Space. Fuente: Imagen del sensor SPOT 5 recuperada de <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/spot-5/>

el 21 de febrero de 2019.

2.6.1 Parámetros de las imágenes Spot 5 de la Ciudad de México, pares estereoscópicos y multispectrales 03-06

E55883110312112A1A09001	
Scene Parameters Pancromática Left	
Scene ID	5 588-311 03/12/11 17:28:06 2 A
K-J identification	588-311
Date	2003-12-11 17:28:06.8
Instrument	HRG 2
Shift Along Track	0 0
Preprocessing level	1A
Spectral mode	A
Number of spectral bands	1
Spectral band indicator	PAN
Gain number	7
Absolute calibration gains	2.499065
(1/W*m2*sr*µm)	
Orientation angle	13.810276 degree
Incidence angle	L18.063691 degree
Sun angles (degree)	Azimut: 159.890649 Elevation: 45.146988
Number of lines	12000
Number of pixels per line	12000
Scene Center Location	
Latitude	N19° 30' 59"
Longitude	W99° 4' 40"
Pixels number	6001
Line number	6001
E55883110601092A1A01001	
Scene Parameters Pancromática Right	
Scene ID	5 588-311 06/01/09 17:08:37 2 A
K-J identification	588-311
Date	2006-01-09 17:08:37.6
Instrument	HRG 2
Shift Along Track	0 0
Preprocessing level	1A
Spectral mode	A
Number of spectral bands	1
Spectral band indicator	PAN
Gain number	7
Absolute calibration gains	2.490118
(1/W*m2*sr*µm)	
Orientation angle	12.341091 degree
Incidence angle	R12.117928 degree
Sun angles (degree)	Azimut: 149.748115 Elevation: 42.534274
Number of lines	12000
Number of pixels per line	12000
Scene Center Location	
Latitude	N19° 31' 1"
Longitude	W99° 0' 36"
Pixels number	6001
Line number	6001

Tabla 2.3:

Datos de los pares estereoscópicos pancromáticos de los años 2003–2006 Left y Right con una resolución espectral de 5m/pixel.

Fuente: Spot-5.

Los datos son tomados del archivo Vol. List, que son los parámetros del extracto de la escena.

Elaboración propia.

E55883110312112J1A09001				
Scene Parameters Multispectral Left				
Scene ID	5 588-311 03/12/11 17:28:09 2 J			
K-J identification	588-311			
Date	2003-12-11 17:28:09.2			
Instrument	HRG 2			
Shift Along Track	0 8			
Preprocessing level	1 ^a			
Spectral mode	J			
Number of spectral bands	4			
Spectral band indicator	HI1	HI2	HI3	HI4
Gain number	8	8	7	5
Absolute calibration gains	2.964095	3.908521	3.049820	10.733595
(1/W*m2*sr*µm)				
Orientation angle	13.480537 degree			
Incidence angle	L18.054329 degree			
Sun angles (degree)	Azimut: 159.905502 Elevation: 45.151428			
Number of lines	6000			
Number of pixels per line	6000			
Scene Center Location				
Latitude	N19° 30' 57"			
Longitude	W99° 4' 41"			
Pixels number	3001			
Line number	3001			

E55883110601092J1A08002				
Scene Parameters Multispectral Right				
Scene ID	5 588-311 06/01/09 17:08:39 2 J			
K-J identification	588-311			
Date	2006-01-09 17:08:39.1			
Instrument	HRG 2			
Shift Along Track	0 0			
Preprocessing level	1 ^a			
Spectral mode	J			
Number of spectral bands	4			
Spectral band indicator	HI1	HI2	HI3	HI4
Gain number	7	7	7	5
Absolute calibration gains	2.139452	2.853960	3.049820	10.694748
(W/m2/sr/µm)				
Orientation angle	12.569757 degree			
Incidence angle	R12.103823 degree			
Sun angles (degree)	Azimut: 149.756992 Elevation: 42.538122			
Number of lines	6000			
Number of pixels per line	6000			
Scene Center Location				
Latitude	N19° 31' 1"			
Longitude	W99° 0' 36"			
Pixels number	3001			
Line number	3001			

Tabla 2.4: Datos de los pares estereoscópicos multispectrales de los años 2003 – 2006 Left y Right con una resolución espectral de 10m/pixel. Fuente: Spot-5. Los datos son tomados del archivo Vol. List, que son los parámetros del extracto de la escena. Elaboración propia.

Resolución y modo espectral de procesamiento de las imágenes Spot5.

2.5 metros, Pancromática, Nivel 1A	
2.5 metros, Pancromática, Nivel 1B	
2.5 metros, Pancromática, Nivel 2A	
5 metros, Pancromática, Nivel 0	
5 metros, Pancromática, Nivel 1A	Imágenes utilizadas para la CDMX
5 metros, Pancromática, Nivel 2A	
5 metros, Pancromática, Nivel 1B	
10 metros, Multiespectral, Nivel 0	
10 metros, Multiespectral, Nivel 1A	Imágenes utilizadas para la CDMX
10 metros, Multiespectral, Nivel 1B	
10 metros, Multiespectral, Nivel 2A	
Nivel 0 - Sin procesar.	
Nivel 1A - Corrección de Anomalías Radiométricas.	
Nivel 1B - Corrección de Anomalías Radiométricas, Procesamiento Geométrico.	
Nivel 2A - Corrección de Anomalías Radiométricas y Proyección Cartográfica	
(UTM WGS 84 por defecto).	

Tabla 2.5: Resolución y modo espectral de procesamiento de las imágenes Spot5, en su modo Pancromática y Nivel de Procesamiento 1A con 5m/pixel. Y en su modo Multiespectral y Nivel de Procesamiento 1A con 10m/pixel.

Fuente: Spot-5. Los datos son tomados del archivo Vol. List, que son los parámetros del extracto de la escena. Elaboración propia.

2.7 Elementos para el análisis de una imagen digital multiespectral en áreas urbanas

Los elementos para el análisis de una imagen digital multiespectral en áreas urbanas son la *textura rugosidad* con el operador de divergencia, la *textura relieve* con la componente principal dos CP^2 y el *índice de cambio urbano* $Urban\ Change = (B2 - B1) / (B1 + B2)$ que se obtiene con la diferencia normalizada de las imágenes que forman el par estereoscópico DF-03.bmp y DF-06.bmp.

Textura rugosidad con el Operador de Divergencia

Divergencia: Mide el campo vectorial de la imagen multiespectral, se emplean las primeras componentes para generar el campo vectorial asociado a la imagen. El flujo del campo vectorial medido por la divergencia es una cuantificación de la rugosidad de la imagen. La divergencia representa una variedad de rugosidades en escala de grises desde muy suave a muy gruesa en una ciudad.

El Operador de Divergencia (Arfken and Weber, 1995) de un campo vectorial η -dimensional \mathbf{u} se define como

$$\nabla \cdot \mathbf{U} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial u_{x_i}}{\partial x_i}$$

Donde x_i es la i -ésima coordenada de un sistema cartesiano de coordenadas de un espacio euclidiano, y u_{x_i} es la componente del campo vectorial $\mathbf{u} = \mathbf{u}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ a lo largo de la dirección definida por x_i . Los pixels de la imagen multi-espectral de η -bandas son vectores n -dimensionales. El conjunto de estos vectores forma el campo vectorial \mathbf{u} (Lira and Rodríguez, 2006).

Textura relieve con la Componente Principal Dos CP^2

Las componentes principales (eigenvectores) es necesario primero (Richards, 1986) calcular los eigenvalores de la matriz de covarianza.

El análisis en componentes principales se define de la siguiente manera:

“La descomposición en componentes principales es una transformación al conjunto de datos que se aplica simultáneamente a todas las bandas que componen la imagen, obteniéndose como resultado una imagen multiespectral con bandas decorrelacionadas” (Lira, 2010).

El análisis en componentes principales, lo que hace es que genera un nuevo conjunto de imágenes cuyas bandas individuales presentan información no disponible en las bandas originales (García, 2000).

Esta transformación es derivada de la matriz de covarianza entre las bandas originales y genera un nuevo conjunto de imágenes donde cada valor de pixel es una combinación lineal de los valores originales. El número de componentes principales es igual al número de bandas utilizadas (García, 2000).

La *textura rugosidad* y la *textura relieve* se obtuvieron con el software SANDI (*Sistema de Análisis Digital de Imágenes*) utilizando los módulos del Operador de Divergencia y Descomposición de Componentes Principales.

Este software fue desarrollado en el Laboratorio de Percepción Remota del Instituto de Geofísica de la UNAM.

$$\text{Índice de Cambio Urbano Urban Change} = (B2 - B1) / (B1 + B2)$$

El software Mathematica 9.0 es empleado para obtener el *Índice de Cambio Urbano*, se anexa código, ver Tabla 2.6.

```
clear all

clc

% Se leen imágenes

% Par estereoscópico

[B1,map_ant1]=imread('0-255 DF-03.bmp','BMP');

[B2,map_ant2]=imread('0-255 DF-06.bmp','BMP');

% Se aumenta precisión

B1=double(B1);

B2=double(B2);

% Se calcula el índice normalizado

NIndex = (B2 - B1)./(B1 + B2);

% Se aplica una elongación lineal al histograma

[NIndexB,menor,mayor]=elonlin(NIndex,0,255);

% Se escribe la imagen

imwrite(NIndexB,colormap(gray(256)),'Urban_Change_03_06_0-255.bmp','BMP');

clear B1 B2;

clear NIndex NIndexB;
```

Tabla 2.6: Código para obtener el *Índice de Cambio Urbano*, hecho con el software Mathematica 9.0. Fuente: Elaboración propia.

Metodología de Percepción Remota para áreas urbanas.

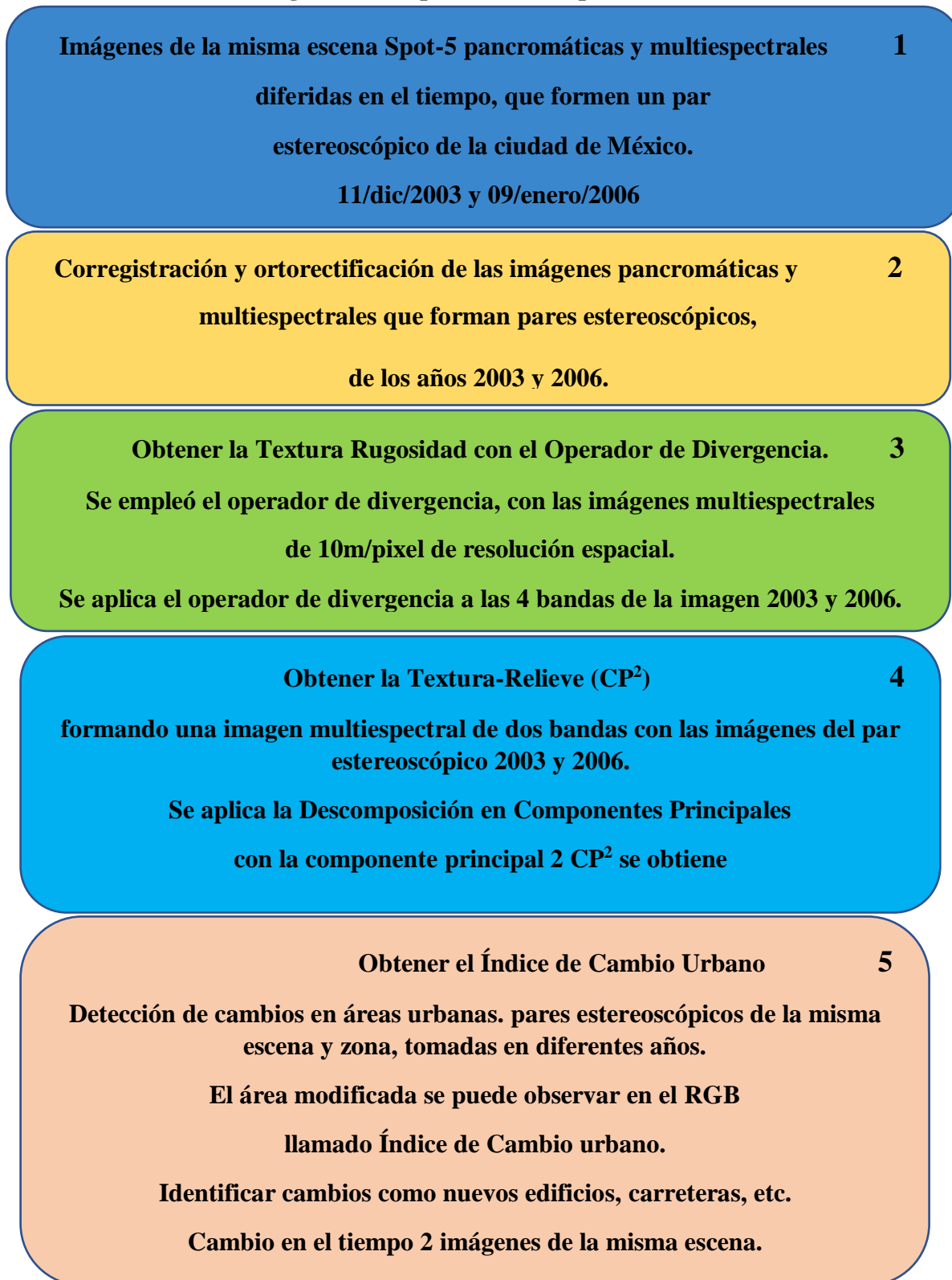


Figura 2.12: Metodología de Texturas e Índice de Cambio Urbano para la Ciudad de México.

Fuente: Elaboración propia.

III Resultados

A continuación, se enlistan los resultados que se obtuvieron en esta investigación urbana:

1. Características de las imágenes Terra/Aster, Ikonos y Spot-5 para realizar estudios del espacio urbano, diferenciándolas por su resolución espacial, espectral y radiométrica.
2. Análisis de la textura-relieve y textura-rugosidad en zonas urbanas de la CDMX.
3. Análisis de la imagen Índice de Cambio Urbano para cuantificar las modificaciones de las estructuras urbanas.
4. Generación del compuesto a color RGB del índice de cambio urbano y las imágenes pancromáticas del año 2003 y 2006.
5. Detección y cuantificación de cambios urbanos mediante las características de texturas-rugosidad, textura relieve y el índice de cambio urbano.

Para el presente trabajo de investigación se eligieron cuatro zonas de estudio de la Ciudad de México, con la finalidad de diferenciar entre los sensores Ikonos, Spot-5 y Terra-Aster. Se analizaron las ventajas y desventajas de los tipos de resolución espacial y espectral de cada uno de éstos sensores, así como los beneficios que se tienen para realizar estudios del espacio urbano empleando métodos de Percepción Remota en estudios de áreas urbanas.

Primero se localizaron las cuatro zonas, con cada una de las cuales se hicieron una serie de mosaicos para ver su resolución espacial, espectral y radiométrica.

En lo que respecta a la metodología basada en imágenes SPOT-5 se utilizó un par estereoscópico de fechas 11/dic/2003 y 09/enero/2006 con una resolución de 5 metros para obtener la *textura-relieve* mediante la componente principal dos (CP²) que nos representa las diferentes morfologías urbanas de la ciudad así como la detección de cambios en las zonas urbanas y la caracterización de áreas urbanas por morfología.

A continuación, se muestra la imagen de *textura-relieve* y *textura rugosidad* con la localización de las cuatro zonas de estudio y los mosaicos comparativos de cada una, ver Figura 3.1, las cuales son:

Mosaicos Comparativos

Zona 1 Palacio de los Deportes, delegación Iztacalco.

Zona 2 Bondonjito, delegación Gustavo A. Madero.

Zona 3 Leyes de Reforma, delegación Iztapalapa.

Zona 4 Ejército de Oriente - Cabeza de Juárez, delegación Iztapalapa.

Se muestra las características de la imágenes pancromáticas y multiespectrales del sensor Spot-5 que fueron utilizadas en el presente trabajo.

Pancromática nivel 1A Corrección de Anomalías Radiométricas, Datum WGS-84

Código	Dimensión (pixels)	Pixel (m ²)	Fecha	Nubosidad	Bandas μm
E55883110312112A1A09001 Left	12,000 x 12,000	5 x 5	Diciembre 11, 2003	0 %	0.48 - 0.71 μm
E55883110601092A1A01001 Right	12,000 x 12,000	5 x 5	Enero 9, 2006	0 %	0.48 - 0.71 μm

Multiespectral nivel 1A Corrección de Anomalías Radiométricas, Datum WGS-84

Código	Dimensión (pixels)	Pixel (m ²)	Fecha	Nubosidad	Bandas μm
E55883110312112J1A09001 Multi	6,000 x 6,000	10 x 10	Diciembre 11, 2003	0 %	1) 0.50 - 0.59 2) 0.61 - 0.68 3) 0.79 - 0.89 4) 1.58 - 1.75
E55883110601092J1A08002 Multi	6,000 x 6,000	10 x 10	Enero 9, 2006	0 %	1) 0.50 - 0.59 2) 0.61 - 0.68 3) 0.79 - 0.89 4) 1.58 - 1.75

Tabla 3.1. Características imágenes Spot 5 de los años 2003-2006

Fuente: Elaboración propia

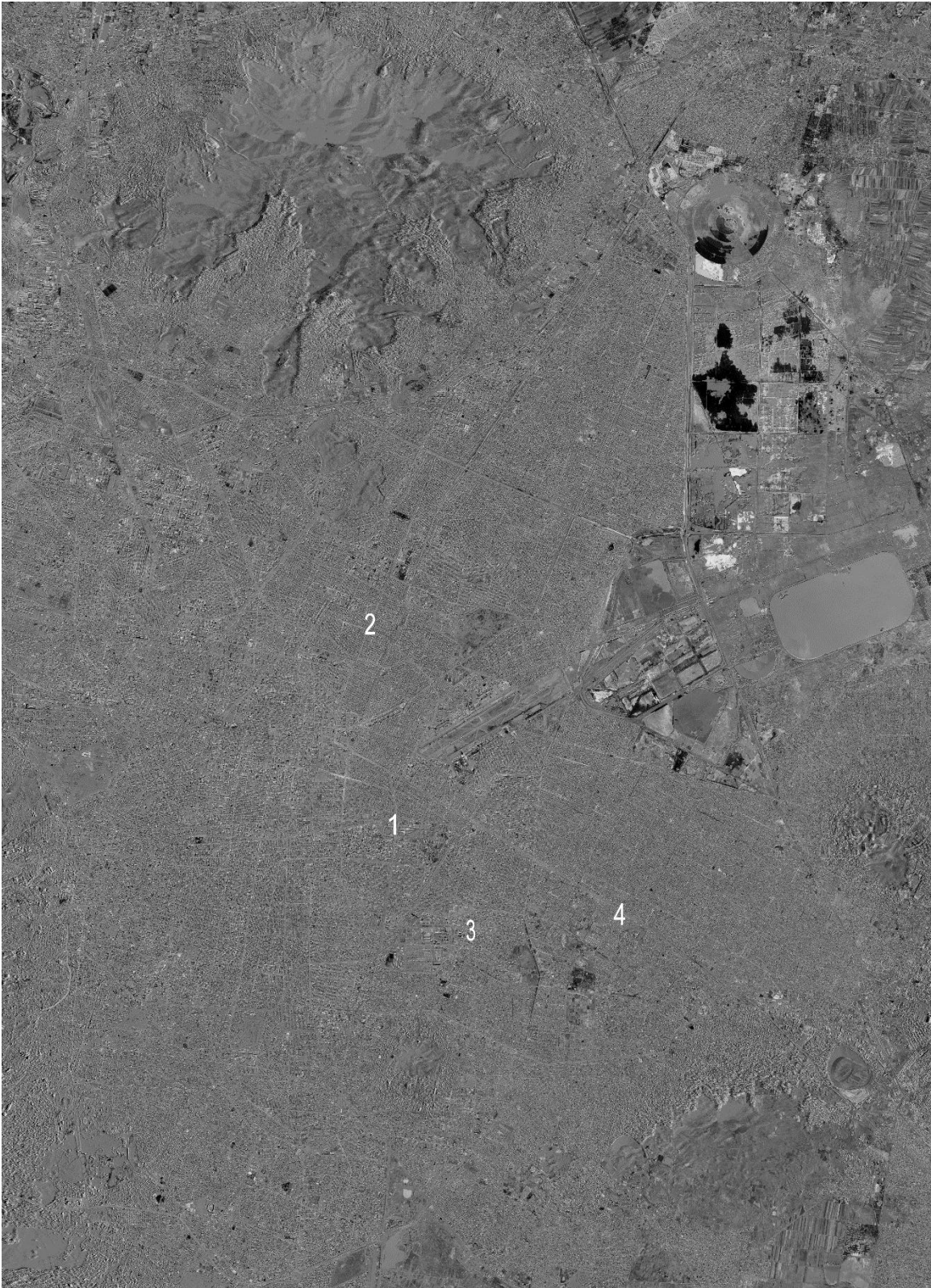


Figura. 3.1 Imagen Spot-5 de *Textura-Relieve* obtenida con la Componente Principal dos (CP²), 5m/pixel de resolución espacial, se localizan 4 zonas de estudio.

Fuente: elaboración propia y procesamiento.



Figura 3.2: Imagen Spot 5 de *Textura-Rugosidad* obtenida con el Operador de Divergencia, 10m/pixel de resolución espacial. Fuente: elaboración propia y procesamiento.

**Zona 1. Palacio de los Deportes área comprendida en la alcaldía Iztacalco.
Figuras 3.3: Elaboración propia y procesamiento.**



(a) RGB= 3NB1B2, Imagen Aster del año 2003, con 15m/píxel de resolución espacial.

Compuesto falso color RGB por las bandas 3N, B1 y B2, con una resolución espacial a 15 m. Apenas se aprecian las estructuras urbanas de esta zona de estudio; tales como: comenzando por la parte norte de la imagen una zona habitacional, seguida de color rojizo la Cd. Deportiva Magdalena Mixihuca, atravesando la Av. Viaducto Río de la Piedad, el Palacio de los Deportes. En paralelo a la avenida anterior se encuentra el Eje 4 Sur, quedando en medio una zona industrial, así como en sentido perpendicular el Circuito Interior Río Churubusco y el Eje 3 oriente Francisco del Paso y Troncoso y hasta el sur de esta imagen una zona habitacional.



(b) RGB = 432, Imagen Spot-5 del año 2006, con 10m/píxel de resolución espacial.

Imagen falso color de la combinación RGB de las bandas 4, 3 y 2 de Spot-5. Con 10m de resolución espacial se presentan algunos elementos de la zona de estudio con mayor detalle que la imagen anterior, tales como: las áreas habitacional más definidas, así como la zona industrial, las áreas verdes, las calles y avenidas principales.



(c) Imagen Pancromática (L) Spot-5 del año 2003, 5 m/pixel de resolución espacial.

Esta imagen forma parte de un par estereoscópico, la cual es del lado izquierdo de la toma por el sensor Spot-5.

Con 5m de resolución espacial, podemos apreciar un mejor detalle de todos los elementos involucrados en esta zona 1, como son: la zona norte de la imagen con más detalle del área habitacional, las áreas verdes, el área industrial y mayor definición en las calles y avenidas.



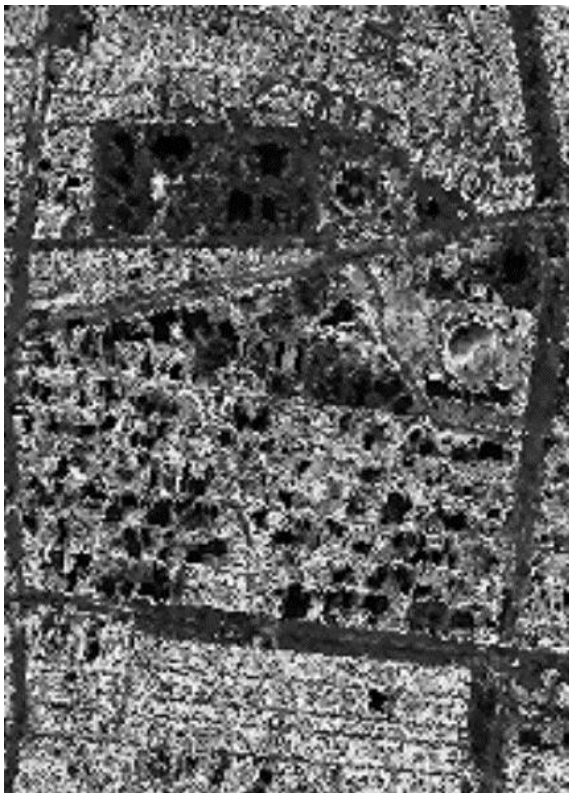
(d) Imagen Pancromática (R) Spot-5 del año 2006, 5 m/pixel de resolución espacial.

En esta imagen que es el par estereoscópico de la imagen anterior, la cual es del lado derecho de la toma por el sensor Spot-5. La morfología urbana que se encuentra en esta zona 1 se aprecian detalles más definidos que en las imágenes Aster con 15m/pixel y Spot5 a 10m/pixel.



(e) Imagen Textura Relieve de Spot-5, procesada con la Componente Principal Dos Cp^2 , con 5m/pixel de resolución espacial.

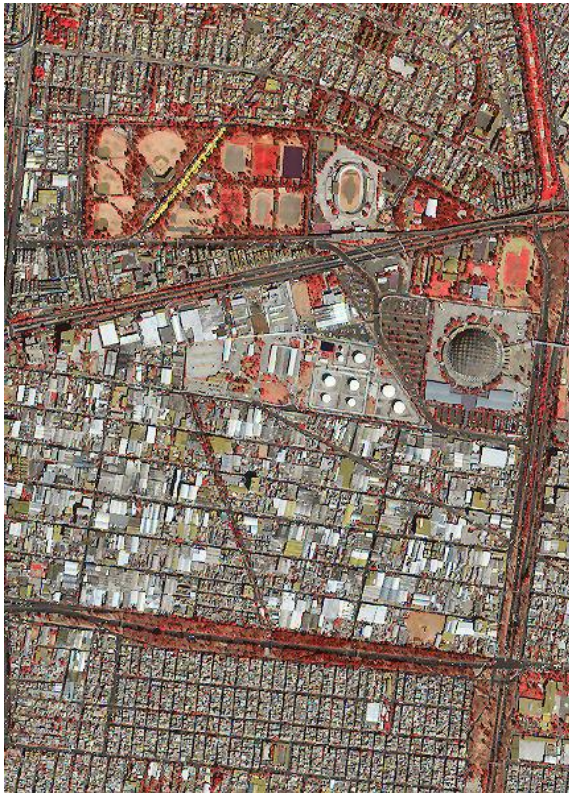
En la parte norte de la imagen la zona es habitacional, la textura-relieve es más abierta, así como también el trazado de las calles y avenidas principales; se nota cierta profundidad en estas. La parte central de la imagen, es una zona industrial, tiene una textura-relieve mixta, además se detallan muy bien las partes altas de las fábricas y en la zona del Palacio de los Deportes la parte de la cúpula la textura-relieve se ve plana, el puente peatonal sale bien definido. En la parte sur hay una compactación y disgregación de la zona habitacional y comercio.



(f) Textura Rugosidad de Spot-5, procesada con el Operador de Divergencia, con 10m/pixel de resolución espacial.

En la zona norte habitacional la textura-rugosa es de gris claro. Seguida por una textura suave donde se encuentra la Cd. Deportiva Magdalena Mixihuca, la Av. Viaducto Río de la Piedad, el Eje 4 Sur, así como en sentido perpendicular el Circuito Interior Río Churubusco y el Eje 3 oriente Francisco del Paso y Troncoso. En el centro de la imagen, tenemos una zona mixta, que es habitacional e industrial, con textura suave y rugosa. En el sur de esta imagen es un área habitacional y su textura es rugosa. La escala de tonos de gris y rugosidad es:





(g) RGB = NIR,R,G. Imagen Ikonos con una resolución espacial de 4m/píxel

Este compuesto falso color RGB está hecho con la banda del infrarrojo cercano (NIR), la banda roja y la banda verde del espectro electromagnético.

Con esta imagen multispectral se notan más la morfología urbana de esta zona 1 con una resolución espacial de 4m con el sensor Ikonos.



(h) Mapa de uso de suelo, en esta zona de estudio comprendida en la delegación Iztacalco. Tenemos en la parte sur de la imagen a la colonia Gabriel Ramos Millán sección Tlacotal con uso de suelo habitacional hasta con tres niveles de vivienda 3/20/B, es vivienda media, una vivienda por cada 50 m² y vivienda baja una vivienda por cada 100 m² de la superficie total del terreno.

En la zona central de esta imagen, se aprecia la parte habitacional mixta e industrial donde se cuenta con viviendas y comercios de 5 niveles de vivienda 5/30/B con un 30% de área libre y una densidad baja, una vivienda por cada 100 m² de la superficie total del terreno.

Está conformada por la zona industrial con tres niveles y una densidad baja, eso es una vivienda por cada 100 m² de la superficie total del terreno.

**Zona 2. Bondojo se encuentra comprendida en la alcaldía Gustavo A. Madero.
Figuras 3.4: Elaboración propia y procesamiento.**



(a) Imagen Aster del año 2003, 15m/pixel.

RGB= 3NB1B2

El compuesto falso color RGB formado por las bandas 3N, B1 y B2, con una resolución espacial a 15 m. Se pueden observar las estructuras urbanas de esta zona de estudio; tales como: comenzando por el norte de la imagen, una parte de zona industrial llamada Ampliación San Juan de Aragón, así como una zona habitacional mixto, pasando el eje 4 Nte. Talismán entre F.C. Hidalgo eje 1 Ote. y la calle Henry Ford se localiza una zona industrial hasta llegar al eje 2 Ote. Av. Congreso de la Unión. En la parte central de la imagen el cuadrículado define una zona habitacional con comercio y hasta llegar a la Av. Gran Canal tenemos un color rojizo en la imagen, lo cual se identifica como áreas deportivas; en la zona sur definida por la Av. Río Consulado sigue siendo área habitacional con comercio.



(b) Imagen Spot5, del año 2006, 10m/pixel

RGB= 421

La combinación [RGB] de las bandas 4,2,1 se crea una imagen en falso color del sensor Spot5, a esta resolución espacial de 10m, apenas y se representan con un poco de mayor detalle los elementos de esta zona de estudio, se definen las áreas habitacional, la zona industrial, los espacios verdes y zonas deportivas, así como calles y avenidas principales.



(c) Imagen Pancromática (L) Spot-5, año 2003.

La imagen pancromática L es del lado izquierdo de la toma por el sensor Spot-5, que forma parte de un par estereoscópico, con una resolución espacial de 5m/píxel, mejora mucho el detalle que en las imágenes anteriores, la morfología de esta zona se aprecian mejor las estructuras habitacionales, el sector industrial, los espacios verdes y áreas deportivas, así como en calles y avenidas.



(d) Imagen Pancromática (R) Spot-5 del año 2006.

Imagen del lado derecho, del par estereoscópico anterior, su resolución espacial es de 5m/píxel, las estructuras urbanas son más definidas, las áreas habitacionales, las calles y avenidas, los espacios recreativos y áreas verdes, las zona industrial y de comercio.



(e) Imagen Textura Relieve-Cp² Spot-5 a 5m/pixel.

La textura relieve de esta imagen, se nota los rasgos de elevación, aspereza y rugosidad del terreno, en las áreas de toda la imagen, la zona norte tiene una compactación y disgregación de la zona habitacional con comercio, del lado izquierdo de la imagen esta una zona mixta que comprende la parte industrial, habitacional y de comercio que se encuentra en la calle Henry Ford, resaltando una textura-relieve mixta; se resaltan las partes altas de las fábricas y tienen una textura-relieve plana. En área sur de la imagen existe una disgregación de la zona habitacional.



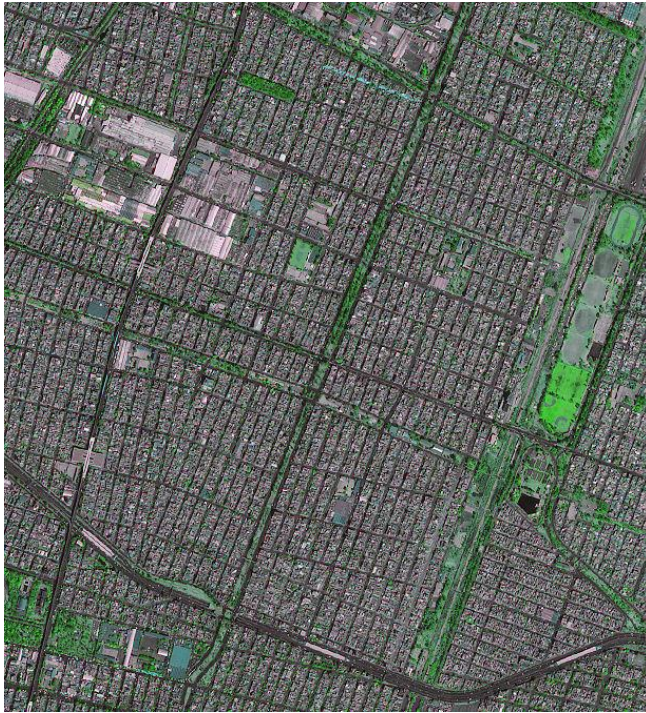
(f) Spot 5 a 10m/pixel. Divergencia

La textura rugosidad que se obtuvo con el operador de divergencia en esta imagen, muestra una textura mixta en la zona norte la textura-rugosa tiene un color blanco y la textura-suave está representada por el color negro. Por ejemplo el Centro Deportivo Francisco Zarco que se encuentra en la derecha de la imagen representa una textura-suave porque es una superficie plana. La área habitacional tiene una textura-rugosa por el tramado de las calles y la alternancia de inmuebles. La zona de Henry Ford, los techos de las fábricas son planos y extensos su textura es suave. El Circuito Interior Río Consulado, representa una textura-suave, esto debido a que es una avenida amplia y plana.



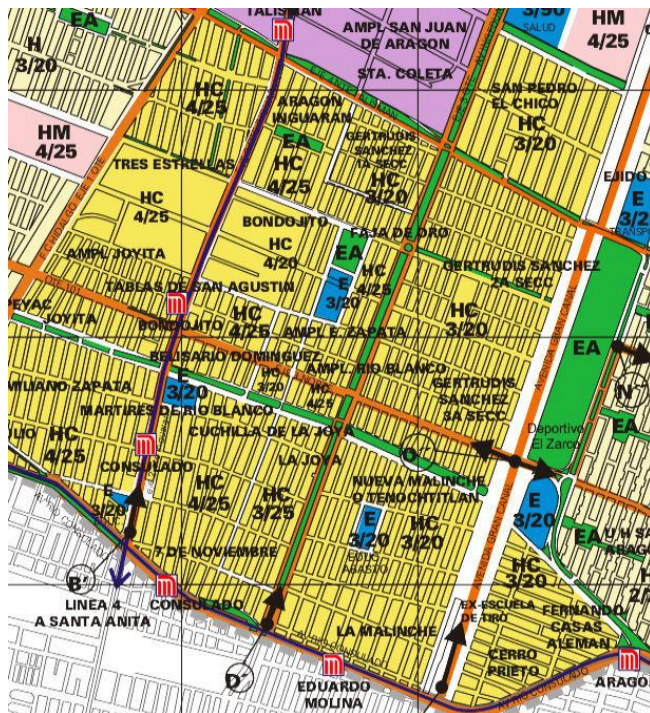
Suave

Rugosa



(g) Imagen del sensor Ikonos 4m de resolución.

Composición falso color [RGB] de las bandas verde, infrarrojo cercano (NIR) y rojo. Con una resolución espacial de 4m/píxel se diferencian mejor las estructuras urbanas en esta imagen multispectral.



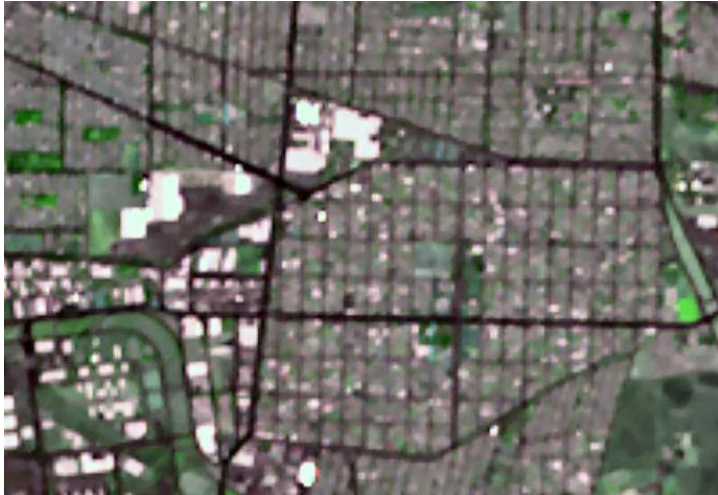
(h) Mapa de uso de suelo zona Bondojito, delegación Gustavo A. Madero.

La mayor parte de esta área comprende las zonas habitacionales HC habitacionales con Comercio, zonas en las cuales predominan las viviendas con comercio, consultorios, oficinas y talleres en planta baja. HC 3/20 San Pedro el Chico, Gertrudis Sánchez 1ª y 2da. Secc., y Fernando Casas Alemán, 3/25 La Joya, 4/25 Tres Estrellas, Ampl. E. Zapata, Mártires de Río Blanco, 7 de noviembre. También tenemos EA espacios abiertos, deportivos, parques, plazas y jardines.

Zona 3

Leyes de Reforma, alcaldía de Iztapalapa.

Figura 3.5: Elaboración propia y procesamiento.



(a) Imagen Aster 15m/pixel

RGB 3N,B1,B2

Las estructuras urbanas de la composición falso color RGB= 3N,B1,B2, del sensor Aster con una resolución espacial a 15 m, se logran diferenciar diferentes zonas: desde el norte entre las avenidas Sur 20 y Sur 24 es habitacional mixto (comercio y oficinas). En el triángulo del Eje 3 Sur Río Frío es comercial con habitacional. La parte central es habitacional con comercio y espacios abiertos. Y en el ángulo inferior izquierdo tenemos la Central de Abastos.



(b) Imagen Spot 10m/pixel RGB

Con una resolución espacial de 10 m, esté compuesto a color [RGB] de las bandas 2,3,1. Se nota mucho más detalle que en la imagen anterior, los elementos de ésta zona de estudio se definen en los siguientes rubros: área habitacional parte norte de la imagen, el triángulo tiene características de comercio con zona habitacional, el resto de la imagen tiene espacios verdes y zonas deportivas, así como el área habitacional, habitacional mixto, comercial e industrial.



(c) Imagen Pancromática (L) Spot-5 del año 2003.

La imagen pancromática L es del lado izquierdo de la toma por el sensor Spot-5, que forma parte de un par estereoscópico, con una resolución espacial de 5m/pixel.



(d) Imagen Pancromática (R)Spot-5 del año 2006.

Imagen del lado derecho, del par estereoscópico anterior, su resolución espacial es de 5m/pixel, las estructuras urbanas son más definidas.



(e) Imagen Textura Relieve-Cp² Spot-5 a 5m/pixel.

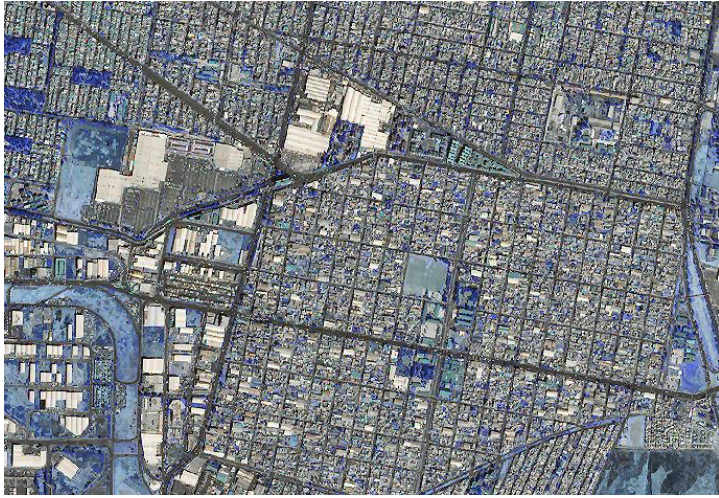
Los rasgos de elevación, aspereza y rugosidad en esta imagen de textura relieve, están distribuidos de la siguiente manera, la zona norte que tiene una disgregación en el área habitacional y un poco más compacta en la parte central. Y en el ángulo inferior izquierdo tenemos la Central de Abastos.



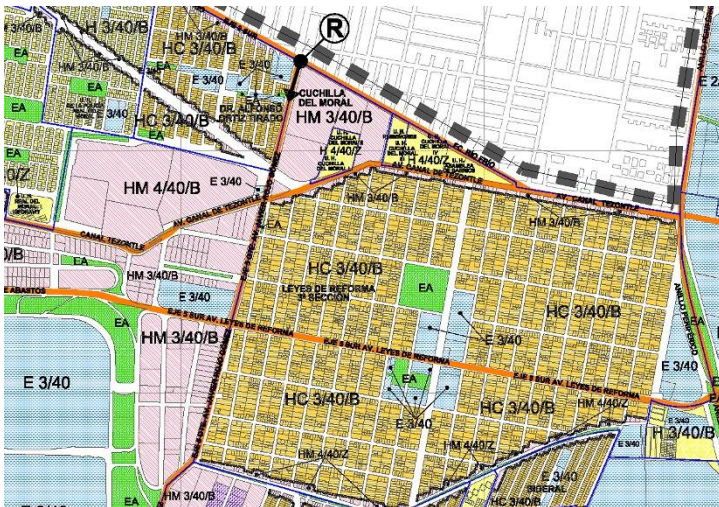
(f) Spot 5 a 10m/pixel, Divergencia

La textura suave la tenemos localizada en la zona central de la imagen la cual representa grandes establecimientos comerciales con techos de lámina. Y la textura rugosa con zonas habitacionales y mixtas.





(g) Imagen del sensor Ikonos 4m/pixel de resolución, esta zona abarca la colonia Leyes de Reforma y una parte de la Central de Abastos.



(h) Mapa de uso de suelo

El suelo urbano en esta zona es por:
H Habitacional,

HC Habitacional con comercio en planta alta,

HM Habitacional Mixto,

E Equipamiento,

EA Espacios abiertos, deportivos, parques, plazas y jardines.

Zona 4

Cabeza de Juárez, límite alcaldía Iztapalapa y Estado de México.

Figura 3.6: Elaboración propia y procesamiento.

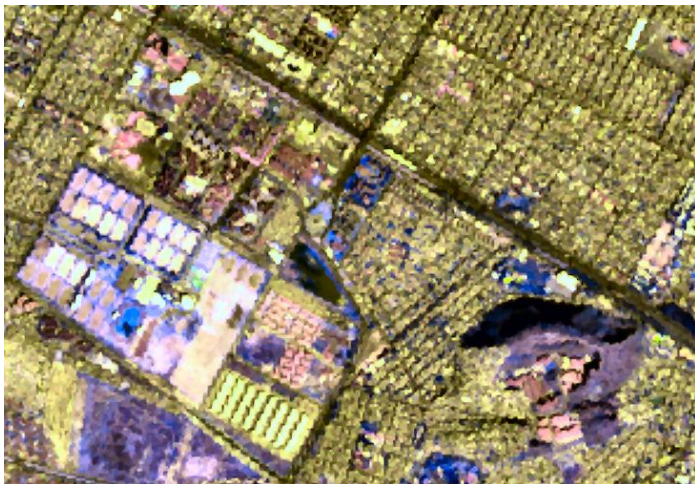
Al oriente de la ciudad de México, en la delegación Iztapalapa y límites con el Estado de México, tenemos la zona llamada Ejército de Oriente y Cabeza de Juárez.



(a) Imagen Aster 15m/pixel

RGB 3NB1B2

El compuesto falso color RGB formado por las bandas 3N, B1 y B2, con una resolución espacial a 15 m, su resolución es baja.



(b) Imagen Spot 10m/pixel. RGB

La combinación [RGB] de las bandas 4,2,1 se crea una imagen en falso color del sensor Spot5, a esta resolución espacial de 10m/pixel, apenas y se representan con un poco de mayor detalle los elementos de esta zona de estudio, zonas habitacionales, mixtas e industriales.



(c) Imagen Pancromática (L) Spot-5 del año 2003.

Esta imagen forma parte de un par estereoscópico, la cual es del lado izquierdo de la toma por el sensor Spot-5. Con 5m/pixel de resolución espacial, podemos apreciar un mejor detalle de todos los elementos involucrados en esta zona.



(d) Imagen Pancromática (R)Spot-5 del año 2006.

En esta imagen que es el par estereoscópico de la imagen anterior, la cual es del lado derecho de la toma por el sensor Spot-5.

La morfología urbana que se encuentra en esta zona 4 se aprecian detalles más definidos que en las imágenes Aster con 15m/pixel y Spot5 a 10m/pixel.



(e) Imagen Textura Relieve-Cp² Spot-5 a 5m/pixel.

La textura relieve de esta imagen, se nota los rasgos de elevación, aspereza y rugosidad del terreno, en las áreas de toda la imagen, la zona norte tiene una compactación y disgregación de la zona.



(f) Spot 5 a 10 m/pixel. Divergencia

La textura suave se nota más en la parte inferior izquierda con una zona industrial Central de Carga, la parte Deportiva Fco. I. Madero y en la parte del Cerro del Peñón.

La textura rugosa está dada por la zonas habitacionales y mixtas.



Suave

Rugosa



(g) Imagen del sensor Ikonos 4m/pixel de resolución,

Este compuesto falso color RGB está hecho con la banda del infrarrojo cercano (NIR), la banda roja y la banda verde del espectro electromagnético.

Con esta imagen multispectral se notan más la morfología urbana de esta zona 4 con una resolución espacial de 4m con el sensor Ikonos.



(h) Mapa de uso de suelo

El suelo urbano en esta zona es por: H Habitacional,

HC Habitacional con comercio en planta alta,

HM Habitacional Mixto,

E Equipamiento,

AV Áreas Verdes de valor ambiental.

EA Espacios abiertos, deportivos, parques, plazas y jardines.

Compuesto a color RGB = Índice de Cambio Urbano, imagen pancromática 06 y 03 CDMX.

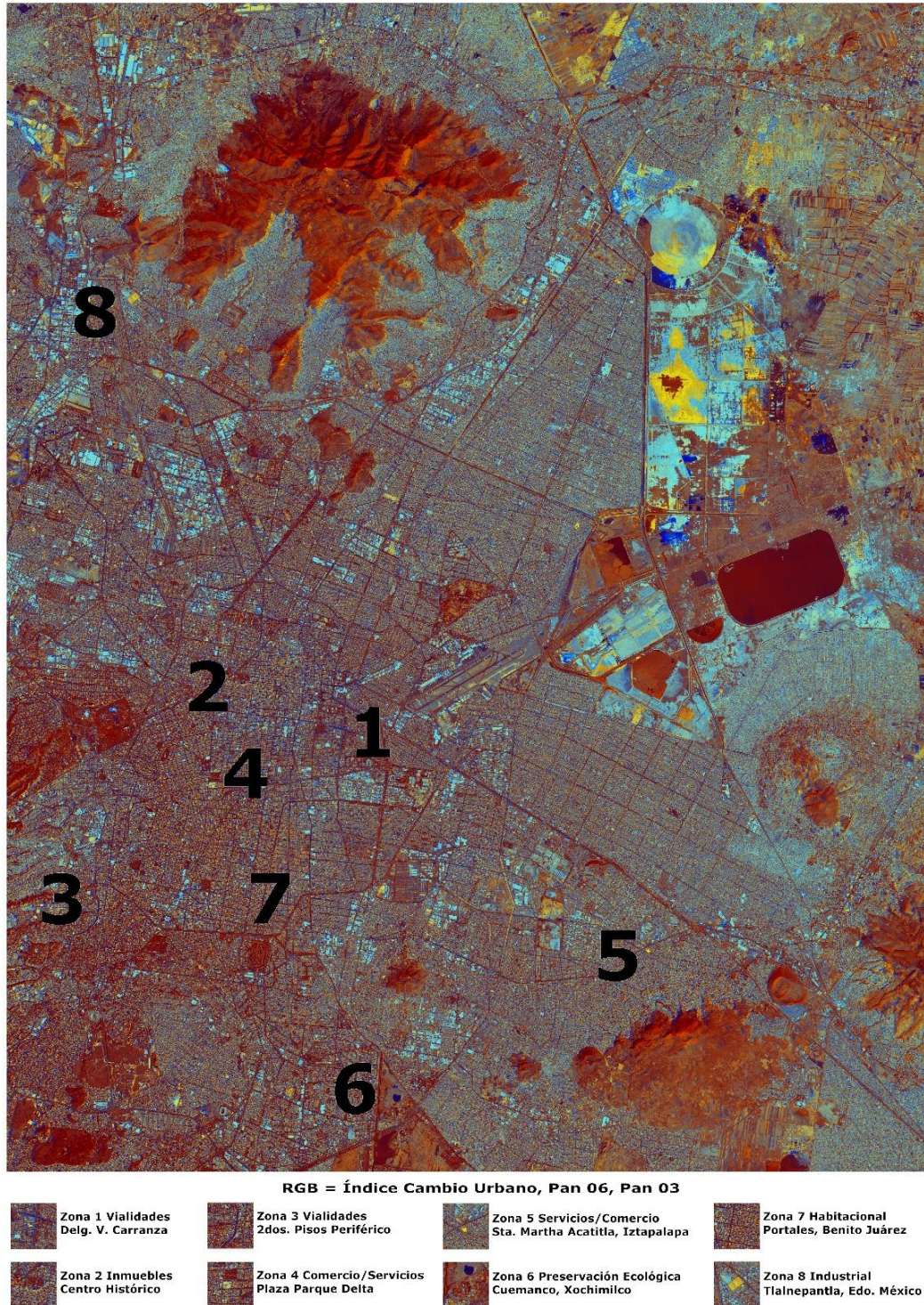


Figura 3.7: Compuesto a color RGB=Índice de cambio urbano, imagen pancromática 06 y 03, con resolución espacial a 5m/pixel, aquí se enumeran las 8 zonas de estudio.

Fuente: Elaboración propia y procesamiento.

Zona 1 (a la izquierda del numeral). Vialidades, Delg. Venustiano Carranza. Figura 3.8: Elaboración propia y procesamiento.



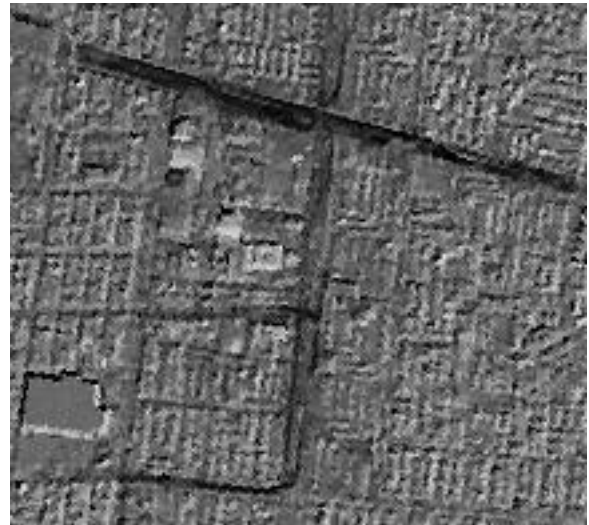
Pancro 03



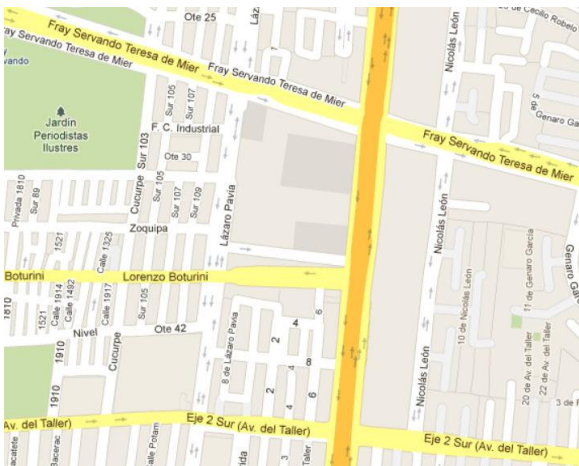
Pancro 06



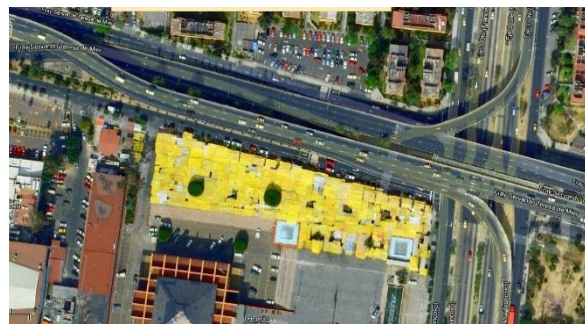
RGB = Urb-Ch Pan06 Pan03



Índice de cambio urbano 03-06



Vialidades, Google Earth



Vialidades, Google Maps

Zona 2 (a la derecha del numeral). Inmuebles, Centro Histórico. Figura 3.9: Elaboración propia y procesamiento.



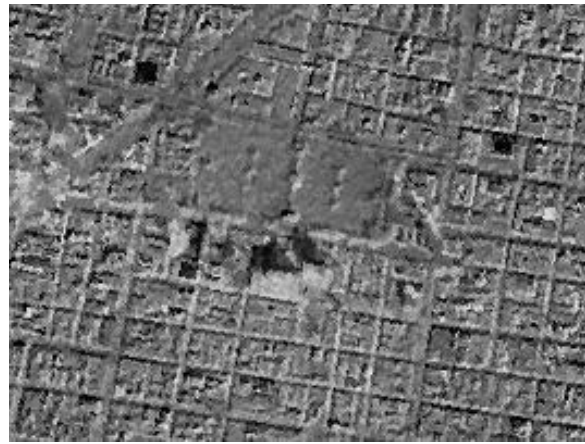
Pancro 03



Pancro 06



RGB = Urb-Ch Pan06 Pan03



Índice de cambio urbano 03-06



Centro Histórico. Google Maps



Centro Histórico, Google Earth

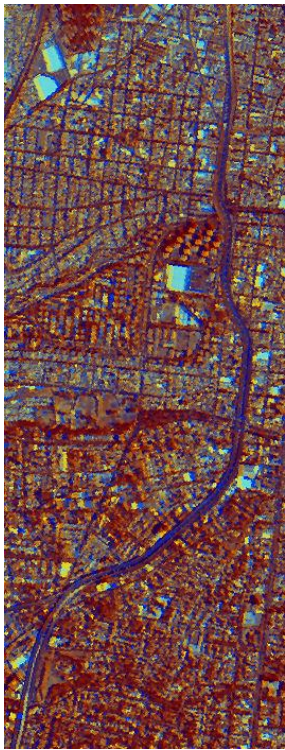
Zona 3 (a la derecha del numeral) Vialidades 2dos. Pisos de Periférico. Figura 3.10: Elaboración propia y procesamiento.



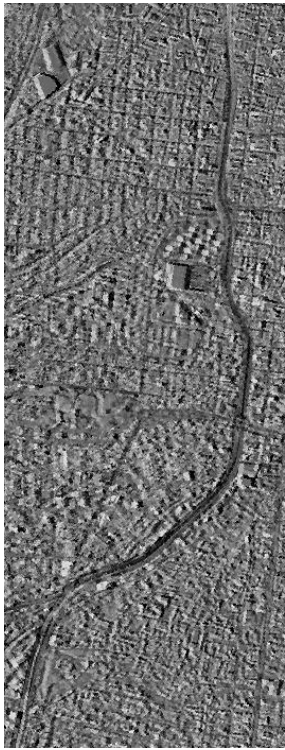
Pancro 03



Pancro 06



RGB = Urb-Ch Pan06 Pan03



Índice Cambio Urbano



Periférico Google Maps



Periférico, Google Earth

Zona 4 (izq. del num.) Comercio/Servicios. Plaza Parque Delta. Figura 3.11: Elaboración propia y procesamiento.



Pancro 03



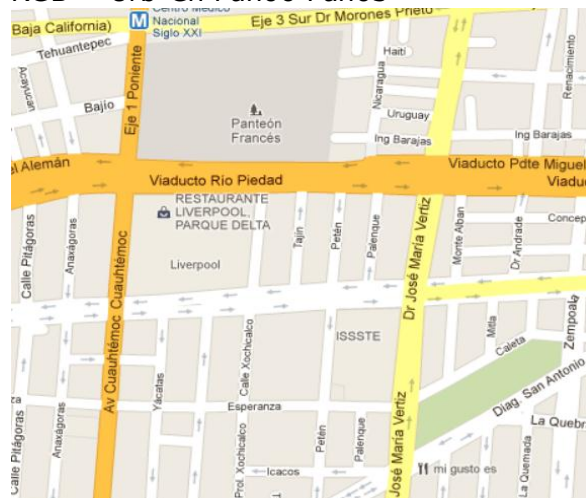
Pancro 06



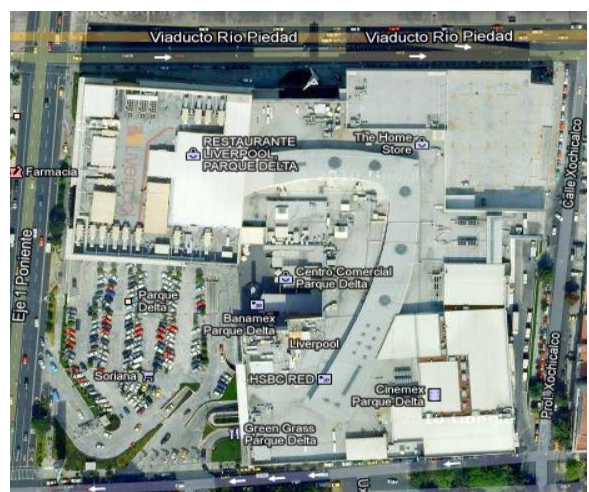
RGB = Urb-Ch Pan06 Pan03



Índice de cambio urbano 03-06



Parque Delta, Google Maps



Parque Delta, Google Earth

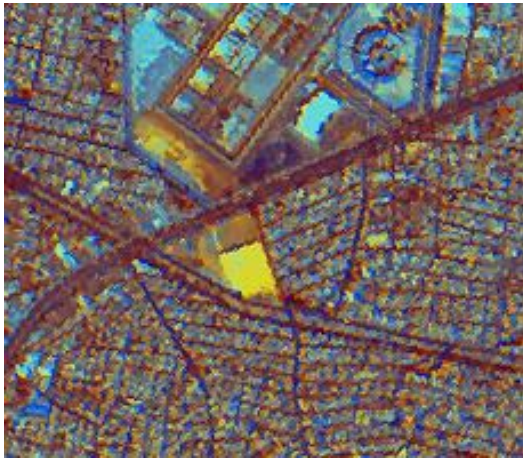
Zona 5 (der. num.) Servicios/Comercio. Sta. Martha Acatitla, Iztapalapa. Figura 3.12: Elaboración propia y procesamiento.



Pancro 03



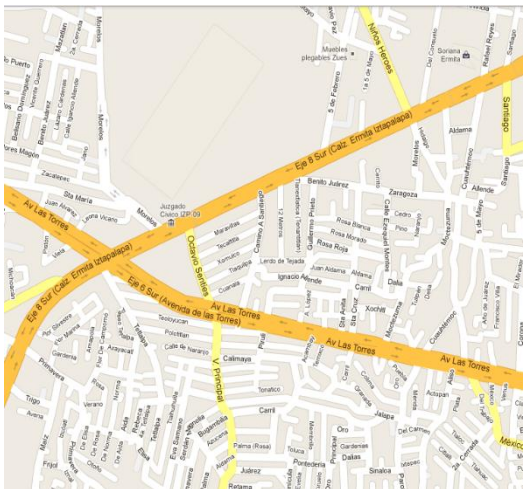
Pancro 06



RGB = Urb-Ch Pan06 Pan03



Índice de cambio urbano 03-06



Sta. Martha Acatitla, Google Maps



Sta. Martha Acatitla, Google Earth

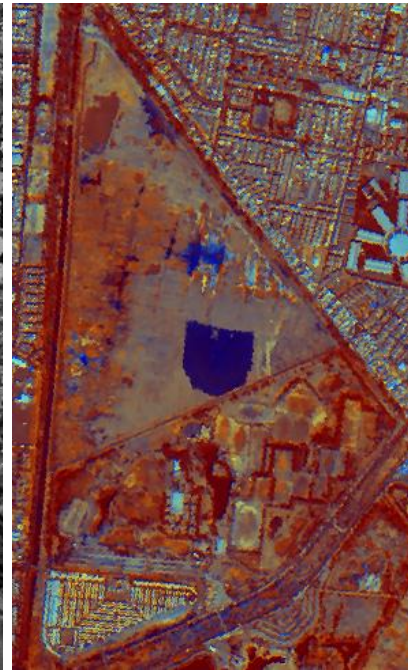
Zona 6 (der. num.) Preservación Ecológica, Cuernavaca. Figura 3.13: Elaboración propia y procesamiento.



Pancro 03



Pancro 06



RGB= Urb-Ch Pan06 Pan03



Índice de cambio urbano
03-06



Cuernavaca, Google Maps



Cuernavaca, Google Earth

Rasgo antropogénico de corta duración.

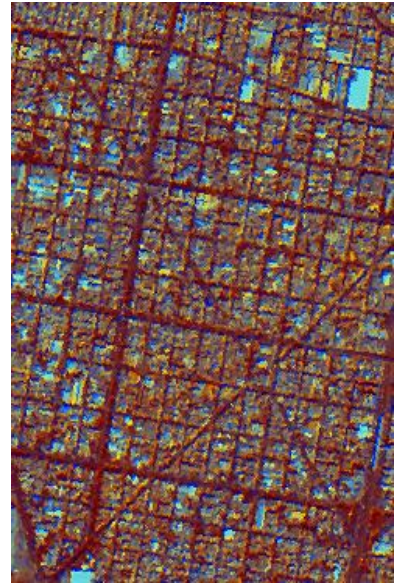
Zona 7 (izq. num.) Habitacional, Portales, Benito Juárez. Figura 3.14: Elaboración propia y procesamiento.



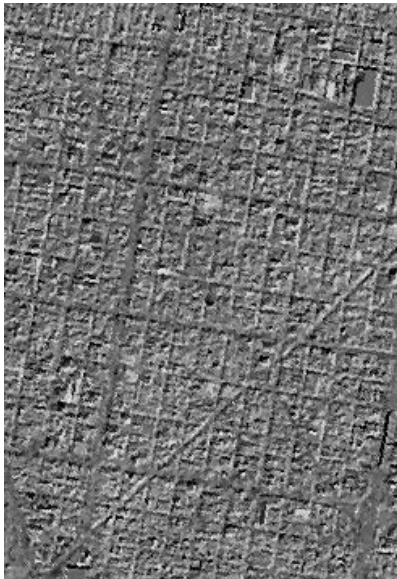
Pancro 03



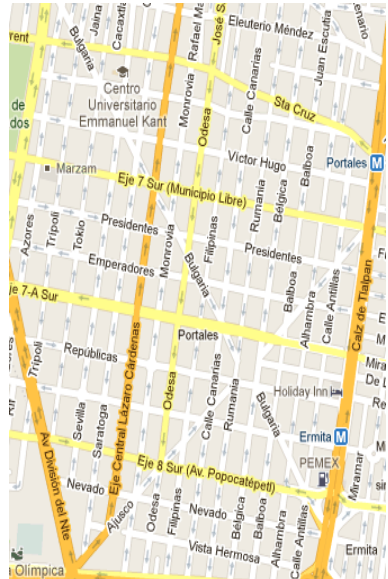
Pancro 06



RGB = Urb-Ch Pan06Pan03



Índice de cambio urbano 03-06



Portales, Google Maps



Portales, Google Earth

Zona 8 (izq. num.) Industrial. Tlalnepantla, Edo. México. Figura 3.15: Elaboración propia y procesamiento.



Pancro 03



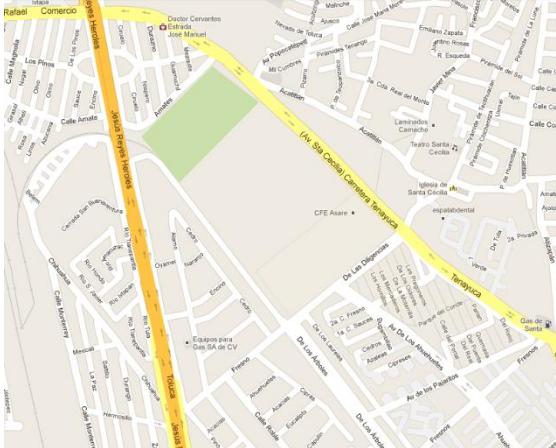
Pancro 06



RGB = Urb-Ch Pan06 Pan03



Índice de cambio urbano 03-06



Industria, Google Maps



Industria, Google Earth

III CONCLUSIONES

El alcance de este trabajo comprende en la importancia de la Percepción Remota aplicada al análisis urbano mediante la metodología que se usa en el procesamiento digital de imágenes. Para nuestro caso, al área comprendida de la Ciudad de México, se emplearon imágenes de tres sensores Terra/Aster, Ikonos y Spot-5. Con este último se centró la investigación desarrollada mediante imágenes que forman pares estereoscópicos pancromáticos y multiespectrales diferidos en el tiempo.

Se diseñó una metodología con imágenes del sensor Spot-5 para el análisis e identificación de cambios de *textura-rugosidad* por medio del Operador de Divergencia, de la *textura-relieve* con la Componente Principal dos (CP²) que está directamente relacionada con el Modelo Digital de Elevaciones de la escena y un *Índice de Cambio Urbano* que es la diferencia normalizada de las imágenes que forman el par estereoscópico.

Todas las imágenes deben ser corregistradas y ortorectificadas, para evitar que estén desfasadas o borrosas.

Con la aplicación de la metodología propuesta en esta tesis se tiene que, el Operador de Divergencia produce la *textura-rugosidad* de la imagen multiespectral, en la cual se representan una variedad de rugosidades en escalas de grises, desde muy suave a muy gruesa, lo que hace pueda ser utilizada en cualquier ciudad o área urbana.

- La textura que se obtiene con las imágenes Spot-5, son pares estereoscópicos, los cuales para este trabajo de investigación tienen una diferencia de tres años entre un par y otro.
- La divergencia que se obtuvo en las imágenes, fue para detectar diferentes grados de rugosidad de textura.
- La matriz divergencia cuantifica la textura.
- La *textura-relieve* que se obtuvo la Componente Principal dos (CP²) está relacionada con el diferente uso de suelo y se manifiesta con diferente rugosidad de la textura.
- La rugosidad de la textura está en función de la estructura urbana.

El índice de cambio urbano para este trabajo de investigación, consistió en la detección de cambios presentes en las imágenes que forman un par estereoscópico del sensor Spot-5 de fechas 11/dic/2003 y 09/enero/2006 con una resolución espacial de 5 metros/pixel.

De lo anterior, se ha aprendido que la percepción remota aplicada al análisis urbano-regional de cualquier ciudad del mundo es útil en los proyectos que llevan a cabo arquitectos y urbanistas.

La Percepción Remota en el Urbanismo

Con la ciencia de la Percepción Remota aplicada al Urbanismo se consideran los estudios complementarios de:

- Tener actualizados y cuantificados los cambios en la escena.
- Hacer propuestas de planeación y desarrollo urbano-regional.
- Complementar los estudios del sitio.
- Los estudios en el cambio de uso de suelo de rural a urbano.
- Hacer estudios de manifestaciones de impacto ambiental.
- Tener una segmentación precisa de las estructuras urbanas inmersas en cualquier ciudad del mundo.
- Evaluación en la dinámica de la cubierta vegetal por zona de estudio.
- Es útil en los proyectos que llevan a cabo Arquitectos y Urbanistas.

Para concluir, quiero agradecer al Dr. Jorge Lira Chávez por haberme enseñado lo que es realmente la Percepción Remota, por toda la paciencia del mundo que me ha tenido, por sus valiosos conocimientos transmitidos en el tratamiento digital de imágenes y sus consejos ante la vida.

A mi tutora la Dra. Michiko Amemiya Ramírez, por todos sus comentarios y dedicación en la revisión de mi trabajo, así como a los miembros del comité tutor al Dr. Héctor Quiroz Rothe por aceptarme en el seminario de graduación y guiarnos a cada uno de los participantes y a mis sinodales que cuentan con una amplia experiencia, compromiso y conocimientos académicos en las materias que imparten en el Posgrado de Urbanismo.

A todos y cada uno de mis profesores de la maestría en Urbanismo del campo de conocimiento Economía, Política y Ambiente, muchas gracias por compartir sus conocimientos.

Al Instituto de Geofísica y al Laboratorio de Percepción Remota por sus instalaciones brindadas durante mi estancia en la realización de mi tesis.

BIBLIOGRAFÍA

- Arfken, G. B. and Weber, H. J. (1995). *Mathematical methods for physicists*, pp. 38–42
(San Diego: Academic Press).
- Cuartero, A., Felicísimo, A.M. and Ariza, F.J., (2005). Accuracy, reliability, and depuration of SPOT HRV and Terra ASTER digital elevation models. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **43**, pp. 404-407.
- Departamento del Distrito Federal, El Colegio de México, (1988).
Atlas de la Ciudad de México. Plaza y Valdés, México, D.F., pp. 19.
- ERSDAC (2001). Earth Remote Sensing Data Analysis Center, July. ASTER User's Guide Part I, General, Ver. 4.0.
https://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03_data/04_Documents/ASTER_L1_Product_Spec_Ver_1.3_July01.pdf
- García, E., (2000). Caracterización de la vegetación en la zona centro del estado de Michoacán empleando procesamiento digital de imágenes e información temática. Tesis que para obtener el grado de Licenciado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM, México, D.F. pp. 81.
- Jensen, R. J., (2000). *Remote Sensing of the Environment An Earth Resource Perspective*, Chapter 12. USA: Prentice Hall, Inc.
- Khorrarn et al., (2012). Remote Sensing. Series SpringerBriefs in Space Development.
<https://www.springer.com/gp/book/9781461431022>
- Lillesand, T. and Kiefer, R., (1987). *Remote Sensing and Image Interpretation*. University of Wisconsin. John Wiley & Sons, Inc. Pp. 1.

- Lira, J. and Frulla, L. (1998). An automated region growing algorithm for segmentation of texture regions in SAR images. *International Journal of Remote Sensing*, 19, pp. 3595–3606.
- Lira, J. (2002). *Introducción al Tratamiento Digital de Imágenes*. Ciencia de la Computación (México: FCE-IPN-UNAM), primera edición.
- Lira, J. and Rodriguez A. (2006). A divergence operator to quantify texture from multispectral satellite images, *International Journal of Remote Sensing*, Vol 27, pp. 2683–2702.
- Lira, J. (2009). A Method to Derive Texture-relief From ASTER Bands 3N and 3B. *International Journal of Remote Sensing*. Vol 30, pp. 6329 – 6341.
- Lira, J., (2010). *Tratamiento digital de imágenes multiespectrales*. México, D.F., UNAM, Instituto de Geofísica, www.lulu.com
- Marín, E., (2014). Operadores vectoriales para el estudio de cambios morfológicos en imágenes multiespectrales. Tesis que para obtener el grado de Maestro en Ingeniería. Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D.F. pp 141.
- Reed, T. R. and Du Buf, J. M. H. (1993). A review of recent texture segmentation and feature extraction techniques. *CVGIP: Image Understanding*, 57, pp. 359–372.
- Rodríguez, A., (2014). Realce de bordes en imágenes multiespectrales de satélite. Tesis que para optar por el grado de Doctor en Ingeniería. Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D.F. pp 422.
- Quiros, E. and Cuartero, A. (2005). “Posibilidades estereoscópicas de los datos espaciales”. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*. *GeoFocus (Informes y Comentarios)*, No. 5, pp 65-76. ISSN 1578-5157.

Taubenböck, H., Esch, T., Wurm, M., Thiel, M., Ullmann, T., Roth, A., Schmidt, M., Mehl, H. and Dech, S. (2008). Urban structure analysis of mega city Mexico City using multi-sensoral remote sensing data. *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology VIII*, Proc. of SPIE, Vol. 7110, pp. 71100E-1 - 71100E-12.

Taubenböck, H., Klotz, M., Felbier, A., Wegmann, M. & Ludwing, R. (2011). Spatio – temporal cross-city comparison using multi-sensoral remote sensing for Mexicancities. JURSE 2011 – Joint Urban Remote Sensing Event -Munich, Germany. April 11-13, 2011. 978-1-4244-8657-1/11. Pp. 81-84.

Wang, Y. (2012). Remote Sensing of Protected Lands. Taylor & Francis Series in Remote Sensing Applications. Qihao Weng, Series Editor. pp. 2

ANEXO I



LA PERCEPCIÓN REMOTA APLICADA AL ANÁLISIS URBANO-REGIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO EMPLEANDO IMÁGENES ÓPTICAS TERRA/ASTER Y SPOT5

Ericka García Contreras¹, Jorge Lira Chávez²

¹ Geog. Estudiante de la Maestría en Urbanismo, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, Laboratorio de Percepción Remota, México D.F., México, varsha_ara@yahoo.com.mx

² Dr. Investigador y responsable del Laboratorio de Percepción Remota, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, México D.F., México, jlira@geofisica.unam.mx

Resumen:

En la actualidad la mayor parte de la población vive en grandes urbes o megalópolis, las cuales son de gran interés para hacer estudios de ciudades empleando métodos de percepción remota. La ciudad de México es una metrópoli con una gran dinámica socio-económica, cultural y de servicios. Esta gran dinámica es una de las principales causas que ocasionan cambios en el uso de suelo urbano. En este trabajo, la investigación se centra en la detección de las estructuras urbanas de la ciudad de México, empleando imágenes ópticas Terra/Aster y Spot-5, mediante el análisis de las siguientes metodologías: a) Un modelo de textura-relieve con imágenes Terra/Aster de las bandas 3B y 3N (Lira, 2009; Cuartero et al. 2005). b) Segmentación y clasificación urbano-regional de estructuras urbanas tales como: edificios, zonas residenciales, zonas industriales, así como áreas agrícolas y áreas verdes de la ciudad de México usando operadores de texturas (Lira and Rodríguez, 2006). c) Generación de un Modelo Digital de Elevaciones empleando pares estereoscópicos del sensor SPOT-5, para la ciudad de México de fechas 2003-2006. Identificación de objetos texturales en la ciudad de México asociados a diferentes estructuras urbanas.

De lo anterior, el impacto de estudios de áreas urbanas empleando imágenes de los sensores Terra/Aster con una resolución espacial en las bandas 3B y 3N de 15m² y Spot-5 con imágenes pancromáticas a 2.5m², 5m² y 10m² en imágenes multiespectrales, es debido a que tienen diferente resolución espacial y pueden resultar de gran interés para los urbanistas, y los arquitectos, haciendo propuestas de planeación urbano-regional y así complementar los estudios del sitio, los estudios en el cambio de uso de suelo de rural a urbano, estudios en manifestaciones de impacto ambiental, así como una segmentación precisa de las estructuras urbanas inmersas en cualquier ciudad del mundo.

Abstract:

Nowadays most of the population lives in large cities or megalopolis, which are of great interest to perform studies of cities using remote sensing methods. Mexico City is a metropolis with a

large dynamic socio-economic, cultural, and services. This great dynamics is one of the main reasons that cause changes in the use of urban land. In this work, research should focus on the detection of the urban structures in Mexico City, using optical images Terra/Aster and Spot-5, by analyzing the following methodologies: (a) A model of texture-relief Terra/Aster images of bands 3B and 3N (Lira, 2009; Cuartero et al. 2005). (b) Segmentation and urban classification of urban structures such as: buildings, residential areas, industrial areas, as well as agricultural areas and green areas of Mexico City using textures operators (Lira and Rodríguez, 2006). (c) Generation of a Digital Elevation Model using stereoscopic pairs of sensor SPOT-5, to Mexico City from 2003-2006 dates. Identification of textural objects in Mexico City associated with different urban structures. Further, the impact of urban studies using image sensors Terra/Aster with spectral bands 3B and 3N, 15m² and Spot-5 panchromatic 2.5m², 5m² and 10m² in multispectral images. This diverse resolution can be of great interest to planners, and architects, making proposals for urban planning and thus complement studies site, studies in rural land-use change to urban, manifestations of environmental impact studies as well as a precise urban structures in any city worldwide segmentation.

Palabras Clave: imágenes ópticas Terra/Aster y Spot-5, detección de las estructuras urbanas, Modelo Digital de Elevaciones, segmentación urbano-regional.

Key words: Terra/Aster optical images and Spot-5, detection of urban structures, Digital Elevation Model, urban segmentation.

1. Introducción

Con el avance de la tecnología espacial, la percepción remota es una herramienta esencial para el estudio de la superficie terrestre, dentro de su campo de acción podemos mencionar algunos ejemplos: en la agricultura para la detección de zonas agrícolas y sus cambios, en geología para la identificación de geoformas y rasgos estructurales geomorfológicos, en la detección de zonas arqueológicas por medio de imágenes de radar y para la actualización cartográfica de las áreas urbanas y rurales, en la prevención y evaluación de desastres; por ejemplo inundaciones. Para el presente trabajo de investigación de análisis urbano-regional es factible hacer un seguimiento de los cambios producidos en la ciudad y del crecimiento urbano afectando las áreas agrícolas que son absorbidas por la ciudad. Es decir, la relación y transición campo - ciudad y de zonas que son deforestadas debido al crecimiento urbano. También es posible emprender estudios de la planeación urbana y el desarrollo sustentable dentro de los procesos de urbanización. La Ciudad de México es una metrópoli con una gran dinámica socio-económica, siendo una de las principales causas entre otras de los cambios en el uso de suelo urbano.

De lo anterior se emplearán en esta investigación imágenes Terra/Aster y Spot-5 para hacer una detección y clasificación de las estructuras urbanas de la ciudad de México como son: edificios, zonas habitacionales, zonas industriales, así como áreas agrícolas y áreas verdes de la propia ciudad.

2. Materiales y Métodos

2.1 Materiales

Se emplearon dos imágenes Terra/Aster que forman un par estereoscópico de la Ciudad de México del año 2002, las bandas que se emplearon son 3B y 3N del subsistema (VNIR) que

forman parte dentro del intervalo espectral del visible e infrarrojo cercano con una resolución espacial de 15 m². Así como también se hace el uso de pares estereoscópicos de la ciudad de México del sensor Spot-5 de los años 2003 y 2006, con una resolución espacial de 5m² en el modo de adquisición pancromático.

En la figura 1 se muestra en tonos de gris la banda 3B del satélite Aster. En la figura 2 se muestra la banda 3N de este mismo satélite. En la figura 3 se muestra en tonos de gris la imagen pancromática Spot-5 con una resolución de 5 metros. En la tabla 1 se proporcionan detalles técnicos de las imágenes empleadas en el presente trabajo.

Figura 1. Imagen Aster del año 2002, región espectral VNIR-3B de la Ciudad de México.



Figura 2. Imagen Aster del año 2002, región espectral VNIR-3N de la Ciudad de México.



Figura 3. Imagen Spot-5 2003, con una resolución espacial de 5 m de la Ciudad de México.

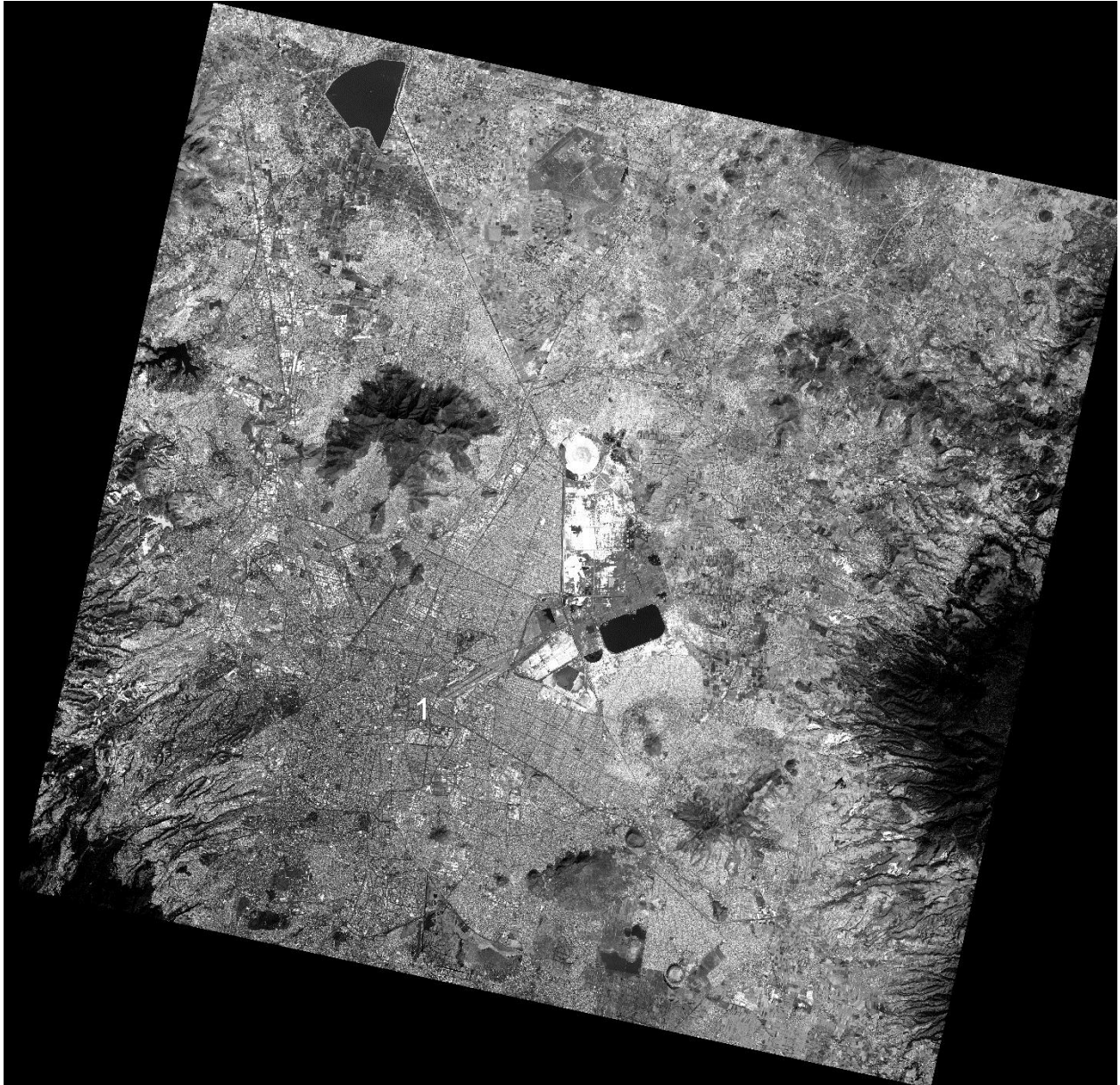


Figura 4. (1) Zona del Palacio de los Deportes, imagen Spot-5 2003, con una resolución espacial de 5 m Ciudad de México.



A continuación, se presenta una tabla con las características principales de las plataformas orbitales empleadas con capacidad estereoscópica.

Tabla 1 Características Principales del sensor Terra/Aster y Spot-5 HRS.

Plataforma	Terra / Aster	Spot – 5 HRS (haute résolution stéréoscopique)
Fecha de lanzamiento, país	Diciembre, 1999. USA	Mayo, 2002. Francia
Altura promedio	717 km	832 km
Período de la órbita	99 minutos	101 minutos
Período de cobertura	16 días	26 días
Tamaño del campo instantáneo de vista	Bandas 1-3 Resolución espacial: 15 x 15 m ² Bandas 4-9 Resolución espacial: 30 x 30 m ² Bandas 10-14 Resolución espacial: 90 x 90m ²	2.5 x 2.5 m ² pancromático 5 x 5 m ² multiespectral 10 x 10 m ²
Tamaño de la imagen	60 x 60 km ²	60 x 60 km ² ó 120 x 120 km ²
Tipo de estereoscopia	E. Transversal	E. Longitudinal
Bandas espectrales (µm)	14 bandas 1) 0.52-0.60 8) 2.295-2.365 2) 0.63-0.69 9) 2.360-2.430 3B,3N) 0.76-0.86 10) 8.125-8.475 4) 1.60-1.70 11) 8.475-8.825 5) 2.145-2.185 12) 8.925-9.275 6) 2.185-2.225 13) 10.25-10.95 7) 2.235-2.285 14)10.95-11.65	4 bandas 1) 0.50 – 0.59 2) 0.61 – 0.68 3) 0.79 – 0.89 4) 1.58 – 1.75

2.2 Método

La metodología usada en esta investigación es empleada con imágenes ópticas Terra/Aster y Spot-5 de la ciudad de México, ambos sensores con capacidad estereoscópica, por lo cual, al aplicar el método de textura-relieve se resaltan rasgos: como elevación, aspereza ó rugosidad del terreno, topografía del lugar y bordes, todos estos elementos presentes en una ciudad. Primero, definiremos la textura dentro del análisis digital de una imagen en percepción remota, adaptado de Lira (2010:17). La textura es local, puede cambiar de un lugar a otro de la imagen y depende de la escala a la cual se le observe; se manifiesta diferente de banda a banda de la imagen multiespectral. La textura depende de la escala a la que se observe la escena y es posible que varias subtexturas compongan una de otra dimensión. La aplicación de la metodología textura-relieve a partir de las bandas 3B y 3N de Terra/Aster (Lira, 2009; Cuartero et al. 2005), consiste en mostrar las características de la ciudad de México con respecto a la altura de las edificaciones, la traza y líneas de las calles concretas en el suelo urbano, así como la localización por grupo de actividades económicas que éstas a su vez son las jerarquías de los diferentes usos de suelo de la ciudad. Este método también es usado para los pares

estereoscópicas de las imágenes Spot-5 de los años 2003-2006. Se procesaron los pares estereoscópicos Terra/Aster y Spot-5 de la ciudad de México a partir de las bandas correspondientes a cada sensor, usando la descomposición en componentes principales y obteniendo la componente principal 2 (CP₂) la cual representa los bordes, elevaciones y la textura-relieve de la ciudad. La textura-relieve de la imagen, esta directamente relacionada con el Modelo Digital de Elevaciones de la escena (Lira, 2009). Cabe mencionar que hay que hacer una buena corrección y ortorectificación de ambas imágenes (pares estereoscópicos), de esta forma se evitará que salgan borrosas las imágenes.

3. Resultados

Los resultados que se obtienen de las imágenes Spot-5, a partir de la banda pancromática a 5m² de resolución, es la imagen llamada textura-relieve (Figura 5), la cual es producto de la descomposición en componentes principales usando la componente dos (CP₂). Con esto podemos analizar la textura-relieve de la Ciudad de México y complementar los estudios de sitio, los estudios en el cambio de uso de suelo de rural a urbano, y estudios en manifestaciones de impacto ambiental. En la figura 5, se hace una selección de zonas en la Ciudad de México, las cuales se presentan en cada una de ellas los siguientes rasgos:

Figura 6 (A) Zona del aeropuerto de la ciudad de México - Podemos apreciar como se detalla perfectamente bien, la pista del aeropuerto, los aviones y el trazado de las calles, de esta forma tendremos una mezcla de textura rugosa en el tramado de calles y suave en la zona plana del aeropuerto. También existe una textura relieve mixta debido a la presencia de zona habitacional en la parte inferior derecha, habitacional mixta en la parte superior izquierda, oficinas en la parte sur del aeropuerto, las áreas verdes que se encuentran en la parte norte del aeropuerto, la zona industrial en el sur centro del aeropuerto se notan las edificaciones de gran tamaño y altura.

En la Figura 7 (B) La imagen abarca la zona del Palacio de los Deportes – Tiene una parte mixta en el centro de la imagen, esta zona es deportiva, donde se aprecia la aspereza o rugosidad del terreno, en la parte sur hay una compactación y disgregación de la zona habitacional que es mixta con comercio y oficinas, en cambio en la parte norte es más uniforme la textura.

Figura 8 (C) Se aprecia el Estadio Azteca - Con su altura la iluminación que da la sombra se nota un efecto de relieve, en la parte del estacionamiento la textura es suave ya que se trata de un área plana, se tiene el uso de suelo habitacional, habitacional con comercio, espacios abiertos, áreas verdes y el ancho de las principales avenidas se nota con cierta profundidad en particular en la parte inferior de la imagen que es el periférico.

Figura 9 (D) La zona de ciudad Nezahualcoyotl que pertenece al Estado de México - La textura es muy uniforme, intermedia, debido a que la mayor parte del área es zona habitacional de uno, dos o tres niveles de edificación y comercios.

La clasificación de la textura relieve está en función de la compactación de los edificios o la disgregación de los mismos. De aquí entonces la segmentación y clasificación de las estructuras urbanas como: edificios, zonas residenciales, zonas industriales, así como áreas agrícolas y áreas verdes de la ciudad de México se logra empleando operadores de texturas (Lira and Rodríguez, 2006; Lira 2009).

Figura 5. Imagen de la Componente Principal 2 (CP₂) Textura-Relieve de la Ciudad de México, Spot-5, años 2003-2006.

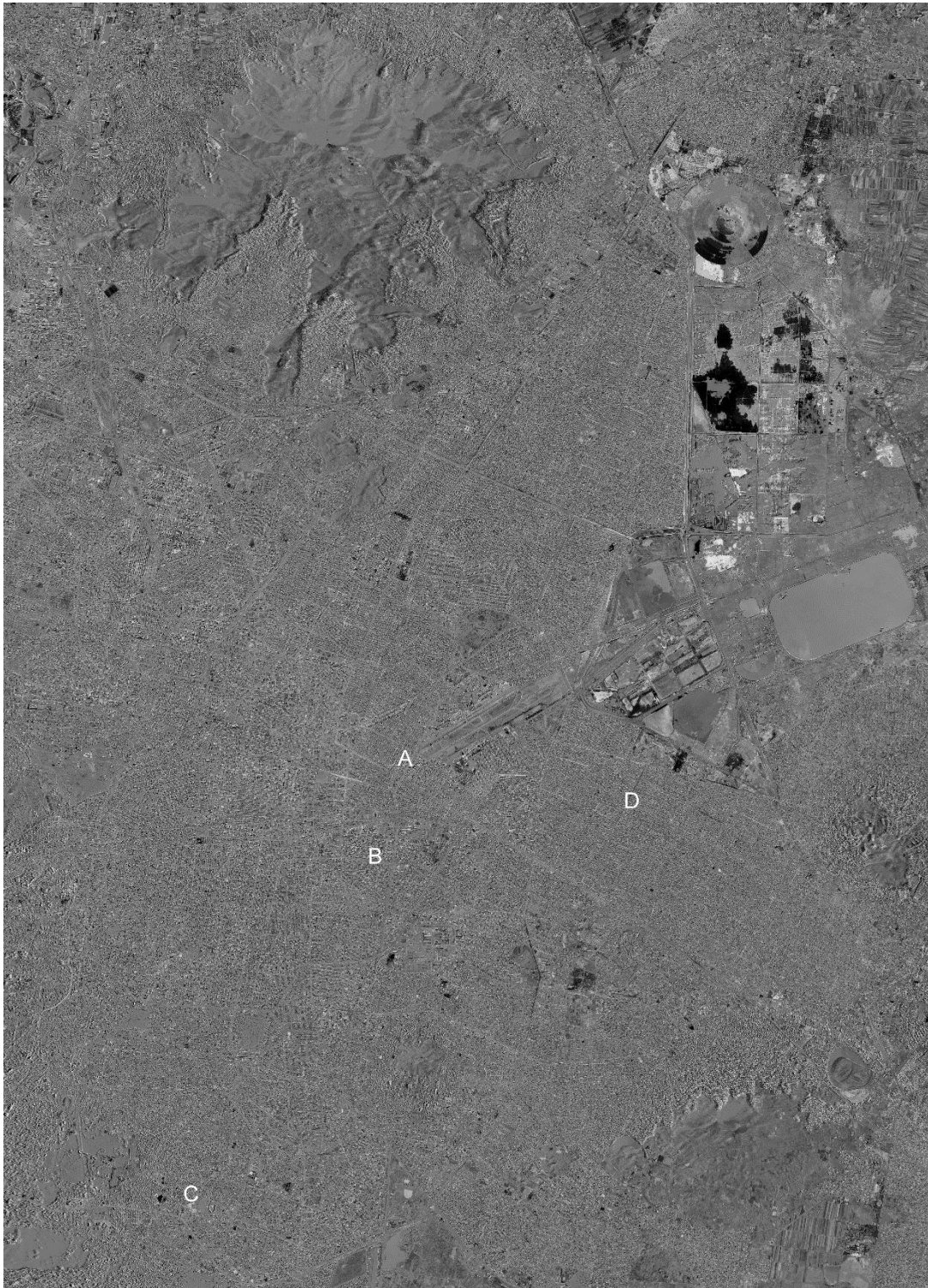


Figura 6. (A) Imagen Spot-5 2003-2006. Zona Aeropuerto de la Ciudad de México.



Figura 7. (B) Imagen Spot-5 2003-2006. Zona Palacio de los Deportes.



Figura 8. (C) Imagen Spot 5 2003-2006. Estadio Azteca.



Figura 9. (D) Ciudad Nezahualcoyotl, Edo.México, Spot-5 2003-2006.



4. Conclusiones

La clasificación con la metodología usada, está en función de la compactación de los edificios o la disgregación de los mismos. De aquí entonces la segmentación y clasificación de las estructuras urbanas como: edificios, zonas residenciales, zonas industriales, así como áreas agrícolas y áreas verdes de la ciudad de México usando el operador de textura-relieve (Lira and Rodríguez, 2006) es de gran importancia para complementar estudios urbanísticos. Los resultados obtenidos con la metodología utilizada, nos demuestra que para hacer estudios de ciudades empleando los sensores Terra/Aster y Spot-5, son de gran calidad y utilidad, esto es debido a que se tiene una diferente resolución espacial en cada uno de ellos, se pueden detectar las estructuras urbanas para hacer un análisis urbano-regional en cualquier zona urbana del mundo; así como también se pueden complementar los estudios del sitio, los estudios en el cambio de uso de suelo de rural a urbano, y estudios en manifestaciones de impacto ambiental, así como una segmentación precisa de las estructuras urbanas inmersas en cualquier ciudad del mundo. De lo anterior, se ha aprendido que la percepción remota aplicada al análisis urbano-regional de cualquier ciudad del mundo es útil en los proyectos que llevan a cabo arquitectos y urbanistas.

Agradecimientos

Se agradece a la Estación de Recepción México de la Constelación Spot (ERMEXS), por los pares estereoscópicos proporcionados, para esta investigación académica de carácter urbano-regional.

Bibliografía

Cuartero, A., Felicísimo, A.M. and Ariza, F.J. Accuracy, reliability, and depuration of SPOT HRV and Terra ASTER digital elevation models. En: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 43: 404-407, 2005.

Lira, J. A method to derive texture-relief from ASTER bands 3N and 3B. En: International Journal of Remote Sensing. 30: 6329 – 6341, 2009.

Lira, Jorge. *Tratamiento digital de imágenes multiespectrales*. México, D.F., UNAM, Instituto de Geofísica, 2010. www.lulu.com

Lira, J. and Rodriguez A. A divergence operator to quantify texture from multi-spectral satellite images, En: International Journal of Remote Sensing, 27: 2683 – 2702, 2006.